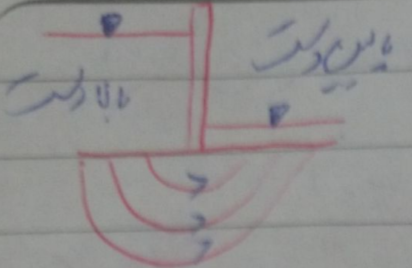
مکانیک خاک

Subject:
Year: Month: Date:

Sa	Su	Mo	Tu	We	Th	Fr



① خاک‌شناسی ② تنش در خاک

③ نشست خاک ④ مقاومت برشی

⑤ تراوش دوبعدی ⑥ میان‌ترم دارد

اصول مهندسی ژئوتکنیک - جلد اول - طاحونی

* ,, ,, - اردشیر اصلانی * مکانیک خاک - بهنیا - دانشگاه تهران

حل تمرین سه سری عمران ارشد

فصل اول

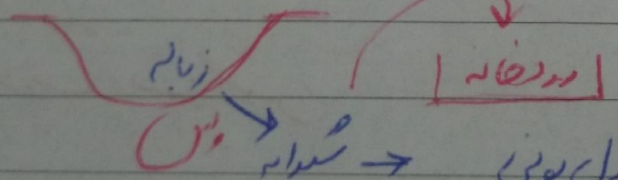
تعریف خاک: توده‌ای است متخلخل حاصل از فرسایش فیزیکی و شیمیایی انواع سنگ‌ها

↓ آذرین، رسوبی، دگرگونی

داخل حفره: آب یا خاک

محیط ۳ فازه: جامد + آب + هوا

فرسایش:
- فیزیکی: خرد شدن قطعات بزرگ
- شیمیایی: کانی‌های سنگ عوض شود ← حرارت یا فشار یا ذوب، باران‌های اسیدی یا هوازدگی یا تبادل یونی و ...



بتن ← شیرابه ← تبادل یونی ← تغییر ویژگی رس

تقسیم‌بندی خاک:
① از نظر محل تشکیل
- درجا ← برای بتن ✓ چون تغییر کرده
- انتقالی ← مثلاً رودخانه‌ها یا باد جابه‌جا شده

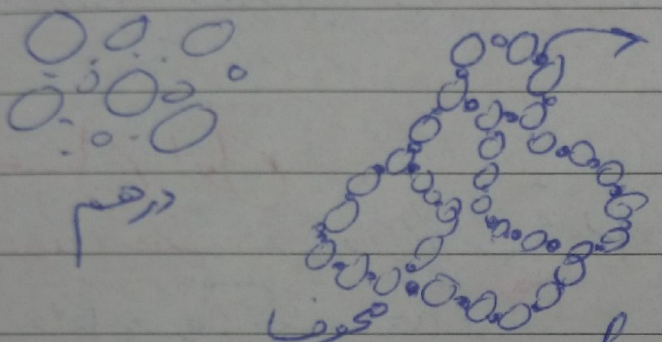
②
- درشت‌دانه: شن، ماسه ← کف‌سازی و بتن
- ریزدانه:
  - رس ← آب‌بندی، شکل‌پذیر، چسبنده ← مجسمه ← غیرقابل نفوذ ← چسبنده
  - لای ← مانند خرده‌ریزه‌های کنار دریا ← غیرچسبنده

NEGAR

رس لای < ۰٫۰۷۵ ۰٫۰۷۵ < ماسه < ۴٫۷۵ ۴٫۷۵mm < شن < ۷۵mm

③ از نظر ساختار:

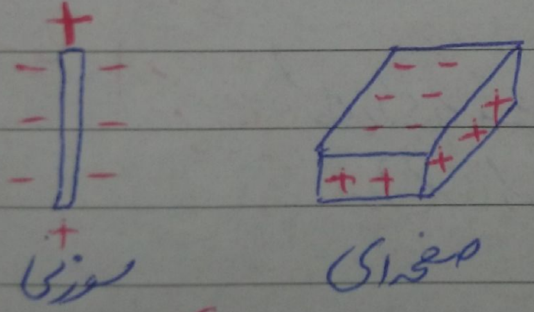
- درشت دانه
  - درهم ← خاک تک‌دانه (انواع دانه‌ها بدون نظم خاص)
  - مجوف (لانه زنبوری) ← اطراف تک‌دانه
- ریزدانه
  - فلاک Floc
  - Disperse



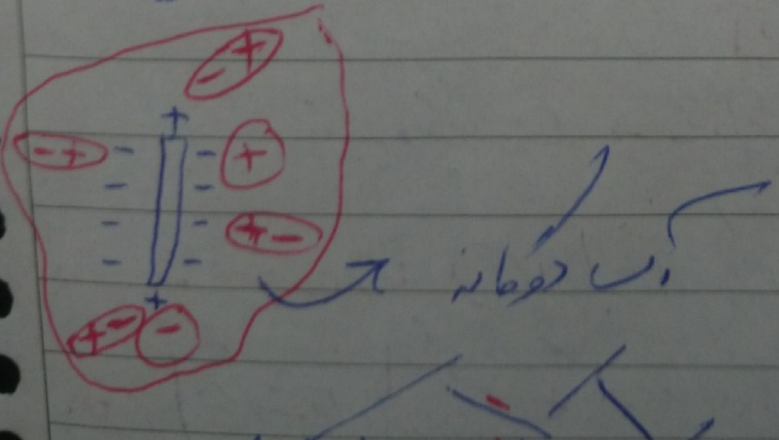
چسب صابونی ← اگه ما کربنات و رس خاصیت چسبندگی

فرونشست

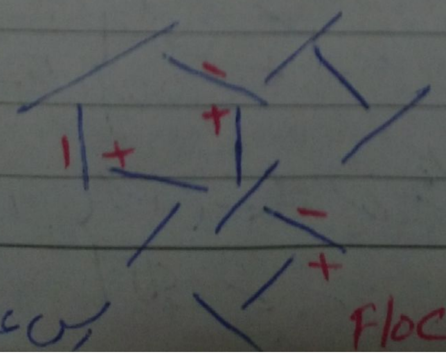
نکته: کانی‌های خاک درشت دانه از نظر الکتریکی خنثی است
کانی‌های خاک رس باردار است

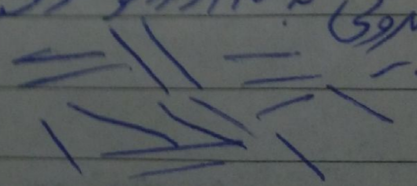


جذب آب رس



فشار بیرونی به floc وارد شود دیسپرس میشود





[illegible] + [illegible]

Subject:
Year: Month: Date:
Sa Su Mo Tu We Th Fr

انواع کانی های رس:

کائولینیت Kaolinit

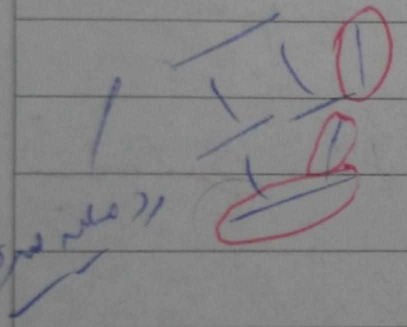
ایلیت Ilit

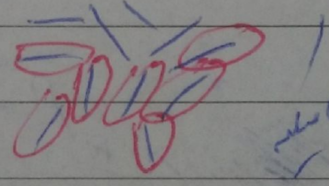
مونت Mont —— بیشترین جذب آب

سطح مخصوص: مقدار مساحت سطوح ذرات در یک حجم مشخص

هرچه سطح مخصوص بیشتر جذب آب بیشتر است

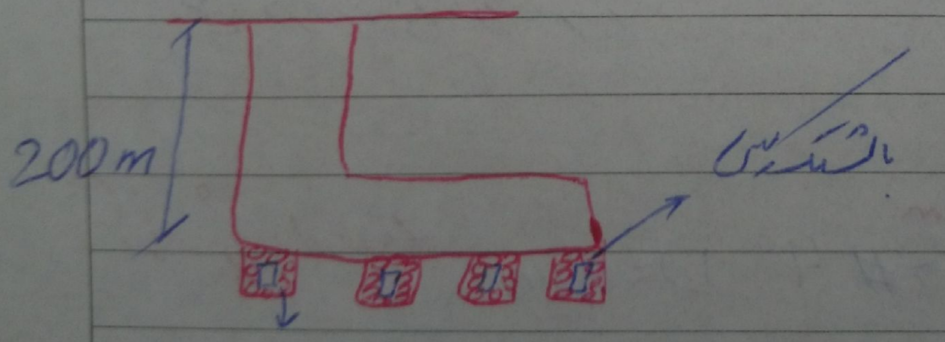
جذب آب Disperse بیشتر از Floc است





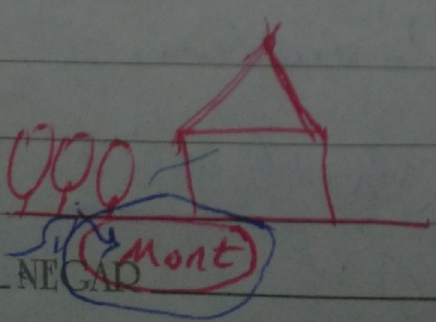
سد Mont ⇐ Disperse

سد روی رودخانه زیرش رس باشه نه ماسه



خاک تورم پذیر:

خاک رسی با PI > 40 دچار تورم زیادی میشود



NEGAR

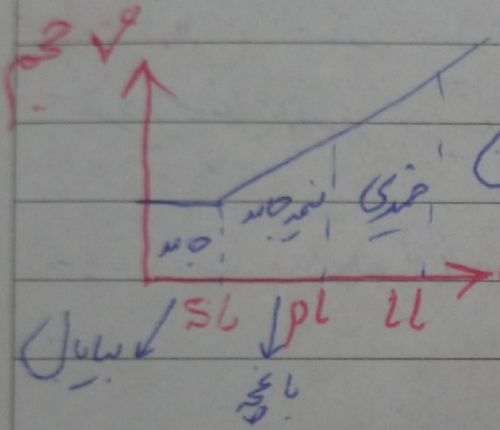
Subject: Year: Month: Date:

خواص خمیری رس: خاک رس در درصد رطوبت های مختلف رفتار متفاوتی دارد، این درصدهای رطوبت را حدود اتربرگ گویند

حد روانی LL : درصد رطوبتی که خاک در آن بصورت روان و سیال است

حد خمیری PL : " " " خمیری و شکل پذیر است

حد انقباض SL : درصد رطوبتی کمتر از آن که در آن خاک بصورت نیمه جامد است

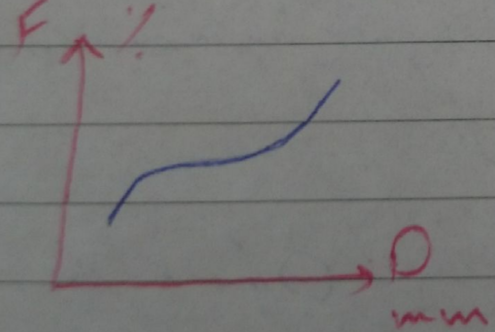


قبل از SL آب وارد حفره ها میشده
در SL حفره ها پر میشه بعد از اون → هوا ۰
افزایش حجم داره

شاخص خمیری: $PI = LL - PL$

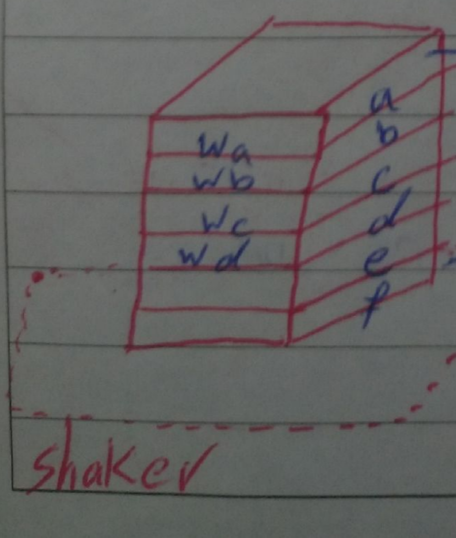
$PI \uparrow \Rightarrow$ خاک رس [illegible] شکل پذیرتر

منحنی دانه بندی:



F : درصد وزنی ذرات ریزتر

آزمایش دانه بندی:



→ #4 $D = 4.75$ mm

→ #200 $D = 0.075$ mm

$$F_d = \frac{W_{کل} - (W_a + W_b + W_c)}{W_{کل}}$$

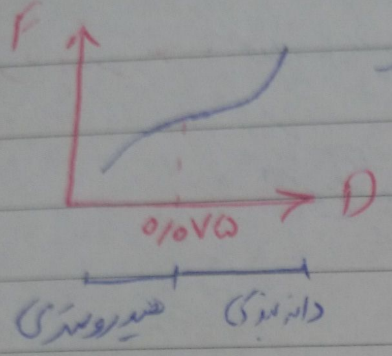
NEGAR

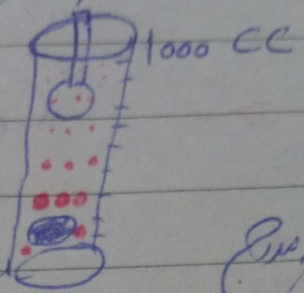
Subject: Year: Month: Date:

Sa Su Mo Tu We Th Fr

آزمایش هیدرومتری

هیدرومتری ← اندازه

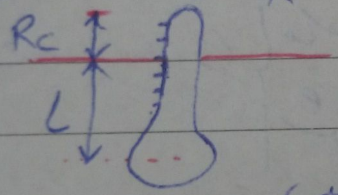




50gr خاک رس + هگزا متافسفات سدیم

ته‌نشینی ← یکنواخت ← دکوله دارد ← برای اینکه به هم نچسبند

سرعت ته‌نشینی $v \sim D^2$ * $v = \frac{L}{t} \Rightarrow D \sim \sqrt{\frac{L}{t}}$



$$D = K\sqrt{\frac{L}{t}}$$

ضریب ثابت

η $gr/cm\,s$ ویسکوزیته

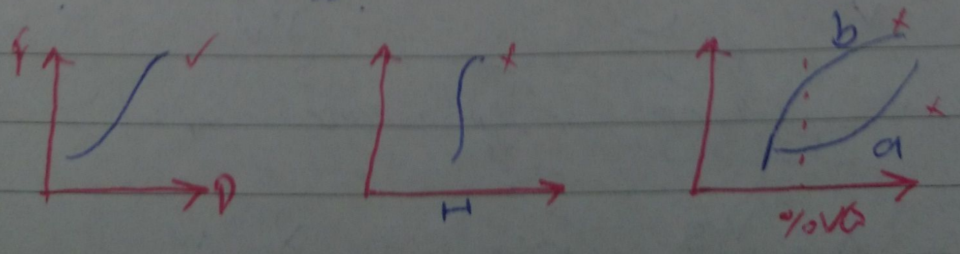
$$K = \sqrt{\frac{30\eta}{(G_s - 1)\gamma_w}}$$

G_s چگالی

γ_w gr/cm^3 وزن مخصوص

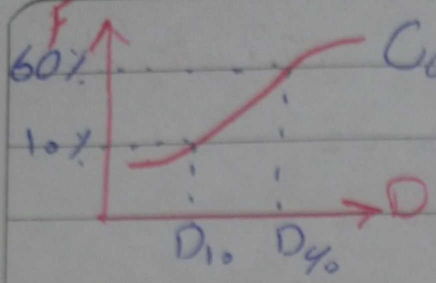
$$F = \frac{W}{W_{کل}} \qquad W = R_c \times \frac{G_s}{G_s - 1} \times \frac{2.65 - 1}{2.65}$$

خاک خوب دانه‌بندی: خاکی که از همه ذرات به طور مساوی داشته باشد



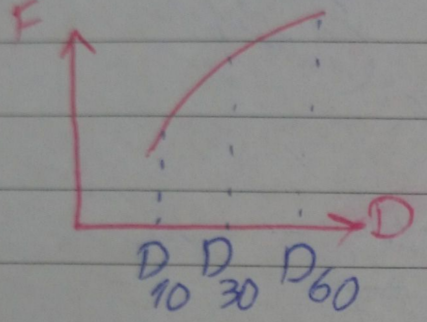
① منحنی کشیده باشد ② تقعر ملایم

NEGAR



$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ ضریب یکنواختی ← بیشتر باشد بهتر

$C_u \uparrow$ ← منحنی کشیده‌تر



$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10}\, D_{60}}$ ضریب انحنا ← نه زیاد نه کم

$1 \leq C_c \leq 3$ و

خاک خوب دانه‌بندی: ماسه $C_u \geq 6$ ، شن $C_u \geq 4$

حجم		وزن
V_a	هوا	W_a
V_w	آب	W_w
V_s	جامد	W_s

پارامترهای وزنی - حجمی *

$W = \cancel{W_a}^{0} + W_w + W_s$

$V = \underbrace{V_a + V_w}_{V_v} + V_s = V_v + V_s$

V_v حجم void

درصد رطوبت $\omega = \frac{W_w}{W_s}$

تخلخل $e = \frac{V_v}{V_s}$

پوکی $n = \frac{V_v}{V}$

درجه اشباع $S_r = \frac{V_w}{V_v}$

خاک خشک $S_r = 0$ خاک اشباع: تمامی حفره‌ها پر از آب $S_r = 1$

وزن مخصوص ذرات جامد $\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$ (1)

وزن مخصوص خاک $\gamma = \frac{W}{V}$ (3)

[illegible]

4 saturation اشباع

ایام خشک

Subject:
Year: Month: Date:

وزن مخصوص خشک $\gamma_d = \frac{W_s}{V}$ (4) وزن مخصوص اشباع $\gamma_{sat} = \frac{W_{sat}}{V}$ (2)

وزن مخصوص غوطه‌وری $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$

وزن مخصوص آب $\gamma_w = 10\ KN/m^3$ → واحد همه‌ی γ ها

سطح زمین ________

سطح آب زیرزمینی G.W - - - - saturation

پایین سطح GW خاک اشباع است

چگالی خاک $G_s = \frac{\gamma}{\gamma_w}$

(1)
$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{\frac{W}{V}}{\frac{W}{W_s}} = \frac{\frac{W}{V}}{\frac{W_w+W_s}{W_s}} = \frac{\frac{W}{V}}{\frac{W_w}{W_s}+\frac{W_s}{W_s}} = \frac{\gamma}{1+\omega} \rightarrow \gamma_d = \frac{\gamma}{1+\omega}$$

(2)
$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{\gamma_s V_s}{V} = \frac{\gamma_s}{\frac{V}{V_s}} = \frac{\gamma_s}{\frac{V_v+V_s}{V}} = \frac{G_s\gamma_w}{\frac{V_v}{V_s}+\frac{V_s}{V_s}} \rightarrow \gamma_d = \frac{G_s\gamma_w}{1+e}$$

$$\gamma_{sat} = \frac{G_s+e}{1+e}\gamma_w \quad (3) \qquad G_s\omega = S_r e \quad (4)$$

$$\gamma = \frac{G_s+S_r e}{1+e}\gamma_w \quad (5)$$

مثال: الف) در اثر بارندگی در فصل بهار قسمتی از پروفیل خاک زیر اشباع می‌شود مطلوب است γ_{sat} ب) مطلوب است مقدار γ_d در فصل خشکسالی

سطح زمین

$\gamma_{sat} = ?$ $\quad \gamma_d = ?$

$\gamma = 18\ KN/m^3 \quad \omega = 10\%$ → نداریم S_r اینجا

سطح آب زیرزمینی G.W $\quad G_s = 2.6$

اینجا $S_r = 1$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+\omega} = \frac{18}{1+10/100} = 16{,}36$$

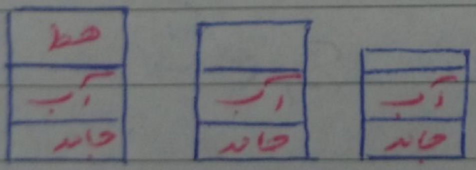
$$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1+e} = 16{,}36 = \frac{26 \times 10}{1+e} \rightarrow e = 0{,}58$$

$$\gamma_{sat} = \frac{2.6 + 0{,}58}{1+0{,}58} \times 10 \rightarrow \gamma_{sat} = 19{,}49\ KN/m^3$$

تراکم خاک: درشت دانه: درهم غلتیدن ذرات خاک

ریزدانه: تشکیل اتصالات الکتروشیمیایی

عکس ⇒ Floc → Disperse



تراکم درشت دانه →

$e > e > e \qquad e = V_v / V_s$

$S_r < S_r < S_r \qquad S_r = \frac{V_w}{V_v}$

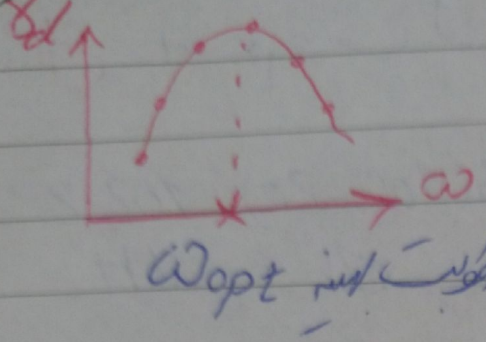
$\gamma < \gamma < \gamma \qquad \gamma = W/V$

$\omega = \omega = \omega \qquad \omega = \frac{W_w}{W_s}$

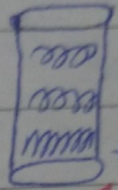
5 optimom بهینه

Subject:
Year: Month: Date:
Sa Su Mo Tu We Th Fr

آزمایش پروکتور
Compaction



آب مناسب برای اضافه کردن



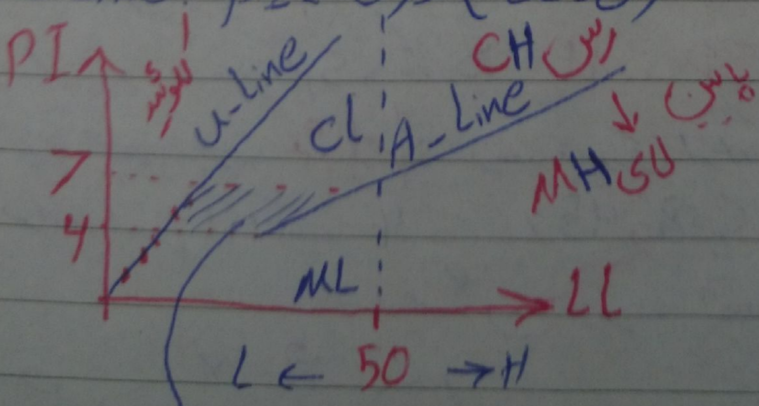
۱/۳ ریخته میشه
چکش ۳ آب

طبقه بندی خاک

unified متحد
BS انگلیسی
AAshto راه سازی

G=Gravel شن   S=Sand ماسه   C=clay رس
M=silt لای   W=Wel خوب دانه بندی   P=poor بد دانه بندی
H=High LL حد بالای   L=low LL حد پایین
A_line = تفکیک رس و لای   U_line = تفکیک خاک و کلوئید
F=200 درصد عبوری از الک F_S = درصد ماسه در درشت دانه
*F>50% → ریزدانه   F<50% → درشت دانه

A_Line: $PI = 0,73(LL-20)$
U_Line: $PI = 0,9(LL-8)$



CL_ML
ویژگی هر دو را داره

NEGAR

مثال: اسم خاک ؟

$LL=160$, $PL=70$ ⟹ $PI=90$ خاک

$PI_{A\text{-}Line} = 0.73(LL-20) = 0.73(160-20) = 102.2$

PI خاک $< PI_{A\text{-}Line}$ ⟹ لای MH

$F<50\%$ (درصد عبوری از الک) ⟹ درشت دانه ⟹ ماسه یا شن

$F_S = \dfrac{\#4 - \#200}{100 - \#200}$

$F_S > 50\%$ → ماسه

$F_S < 50\%$ → شن

$F<5$ و	ویژگی خوب دانه‌بندی	SW
$F<5$ و	" بد "	SP
$F>12$ و	" رس	SC
$F>12$ و	" لای	SM
$F>12$ و	" CL-ML	SC-SM
$5<F<12$ و	ویژگی SW و SC	SW-SC
" و	" SW و SM	SW-SM
" و	" SP و SC	SP-SC
" و	" SP و SM	SP-SM

مثال: درصد عبوری از الک 200 = 11%

$LL=36$, $PL=20$, $C_u=12$, $C_c=8$, درصد عبوری از الک 4 = 45%

$F_S = \dfrac{45-11}{100-11} = 0.38 < 50$ → شن

$F_{200} = 11\% < 50$ → درشت دانه

$F_4 = 45\%$ $5<F<12$

$\begin{cases} C_c = 8 & ✗ \\ C_u = 12 & ✓ \end{cases}$ ⟹ P

ادامه چند صفحه بعد ←

فصل دهم تنش در خاک

Subject:
Year: Month: Date:

Sa Su Mo Tu We Th Fr

$\sigma = \gamma h$

γ | h

γ_{sat} $\sigma = \gamma_{sat} h$

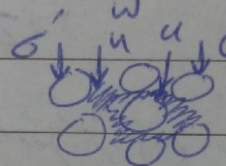
$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w \rightarrow \gamma_{sat} = \gamma' + \gamma_w$

$\rightarrow \sigma = (\gamma' + \gamma_w) h = \gamma' h + \gamma_w h$

تنش وارد بر ذرات ... تنش موثر — تنش وارد بر آب داخل حفره ها

$\sigma' = \gamma' h$ تنش موثر — $u = \gamma_w h$ فشار آب حفره ای

تنش کل $= \sigma = \sigma' + u$



$\sigma = \gamma_{sat} h$

$\sigma' = \gamma' h \quad u = \gamma_w h$

γ_d خشک — $\sigma = \gamma_d h \quad \sigma' = \gamma_d h \quad u = 0$

γ مرطوب — $\sigma = \gamma h \quad \sigma' = \gamma h \quad u = 0$

مثال)

$\sigma = \Sigma \gamma h \quad \sigma' = \Sigma \gamma' h$

$u = \Sigma \gamma_w h$

2m	SM	$\gamma = 19 \, kN/m^3$
3m	GP	$\gamma = 18 \, kN/m^3$
4m	CH	$\gamma_{sat} = 21 \, kN/m^3$

$\sigma = 19 \times 2 + 18 \times 3 + 21 \times 4 = 176 \, \frac{kN}{m^2}$

$\sigma' = 19 \times 2 + 18 \times 3 + (21 - 10) 4 = 136$

$u = 10 \times 4 = 40 \, \frac{kN}{m^2}$

$\sigma = ?$

$\sigma' = ?$

$u = ?$

NEGAR

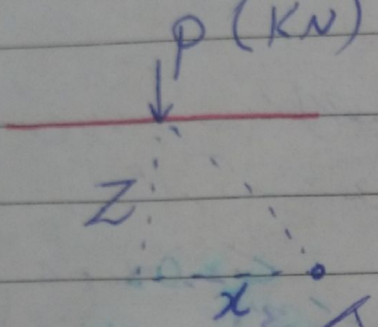
Subject: Year: Month: Date:

Sa | Su | Mo | Tu | We | Th | Fr

تنش خاک:
- تنش بجا : ناشی از وزن خاک (ثابت)
- اضافه تنش : ناشی از بارگذاری خارجی $\Delta\sigma$

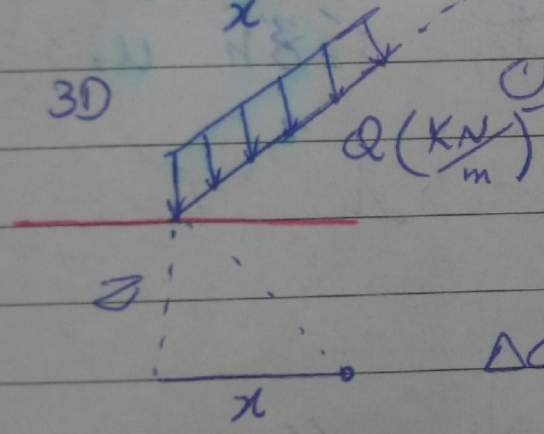
اضافه تنش:
- تئوری بوسینسک ← مکانیک خاک ✓
- تئوری وسترگارد ← راحت تری ← تنش ناشی از بار گسترده

① بار نقطه ای



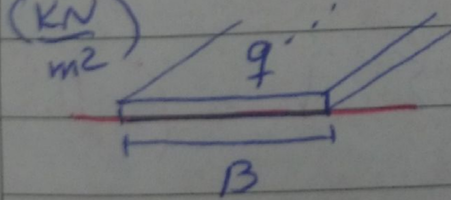
$$\Delta\sigma = \frac{3P}{2\pi Z^2}\left(\frac{1}{1+\left(\frac{x}{Z}\right)^2}\right)^{5/2}$$

② بار خطی



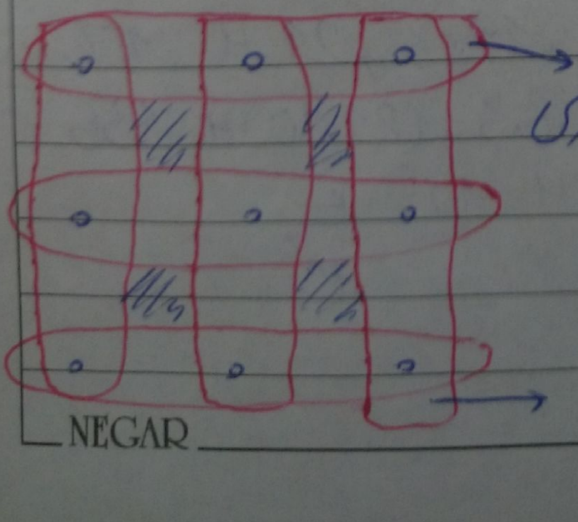
$$\Delta\sigma = \frac{2Q}{\pi}\,\frac{Z^3}{(x^2+Z^2)^2}$$

③ بار نواری



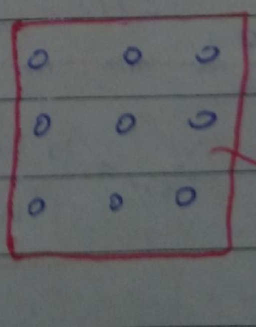
rad

$$\Delta\sigma = \frac{q}{\pi}\left(\alpha + \sin\alpha\cos(\alpha+2\beta)\right)$$



پی نواری

اگه جواب بده

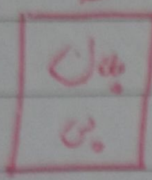


پی گسترده

پی نواری

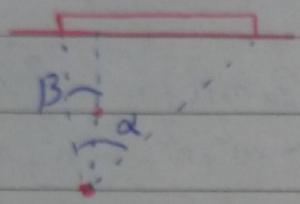
$KN/m^2 = kpa$

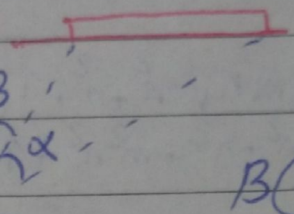
Subject:
Year: Month: Date:
Sa Su Mo Tu We Th Fr



$\frac{L}{B} \geq 4$ نواری

$\frac{L}{B} < 4$ گسترده



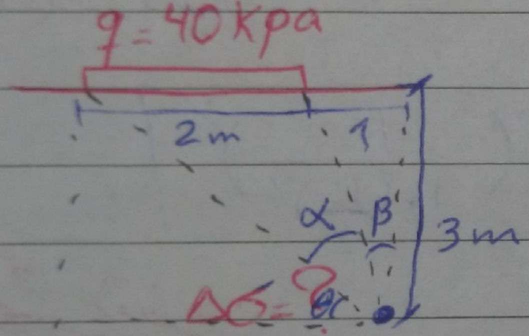


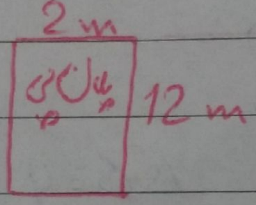
B ⊕ زیر پی باشد

B ⊖ زیر پی نباشد

β زاویه بین با خط قائم

(مثال)





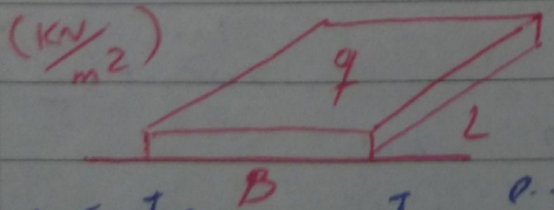
$\tan\theta = \frac{3}{3} \rightarrow \theta = 45°$

$\tan\beta = \frac{1}{3} \rightarrow \beta = 18,26$

$\alpha = 90 - (45 + 18,26) = 26,74$

$\Delta\sigma = \frac{40}{\pi}(0,47 + \sin(26,74°)\cos(26,74 + 36,52))$

$= 11,09 \ \frac{KN}{m^2}$ یا kpa

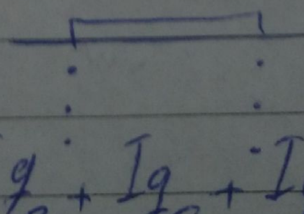


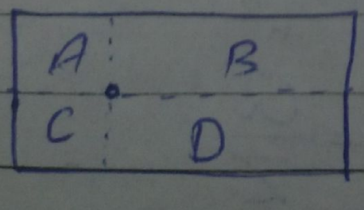
$\frac{L}{B} < 4$ پی گسترده

(4) بار گسترده

$\Delta\sigma = Iq$

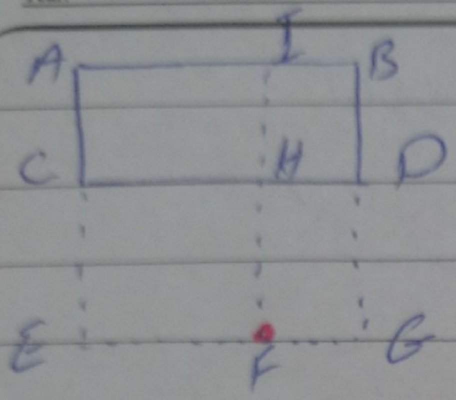
I ضریب توزیع تنش





$\Delta\sigma = Iq_A + Iq_B + Iq_C + Iq_D$

NEGAR

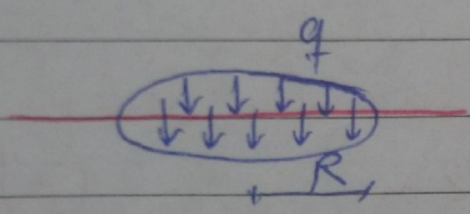


$$\Delta\sigma_F = Iq_{AIEF} - Iq_{CHEF} + Iq_{IBFG} - Iq_{HDFG}$$

$$I = \frac{1}{4\pi}\left[\frac{2mn\sqrt{m^2+n^2+1}}{m^2+n^2+m^2n^2+1}\left(\frac{m^2+n^2+2}{m^2+n^2+1}\right) + tg^{-1}\left(\frac{2mn\sqrt{m^2+n^2+1}}{m^2+n^2-m^2n^2+1}\right)\right]$$

$$m = \frac{L}{Z} \quad n = \frac{B}{Z}$$

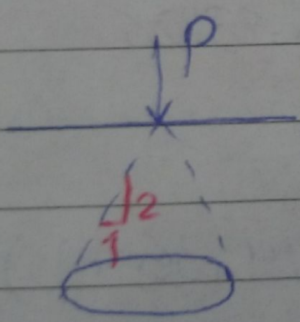
5) بار دایره‌ای

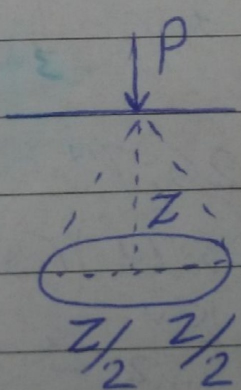


$$\Delta\sigma = q\left[1 - \left(\frac{1}{1+\left(\frac{R}{Z}\right)^2}\right)^{3/2}\right]$$

روش تقریبی:

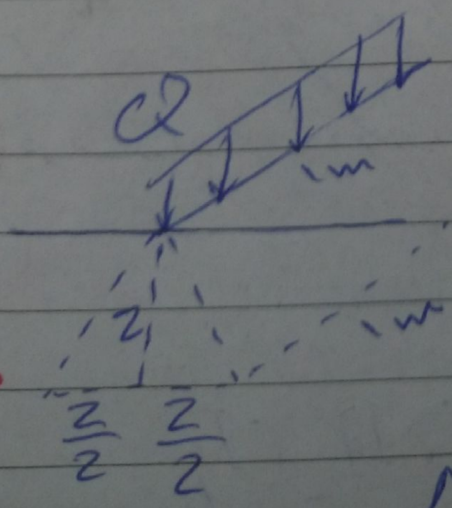
1) بار متمرکز





$$\Delta\sigma = \frac{P}{A} = \frac{P}{\pi\left(\frac{Z}{2}\right)^2}$$

2) بار خطی



نیروی متمرکز	P	KN
بار خطی	Q	KN/m
تنش	q	KN/m^2

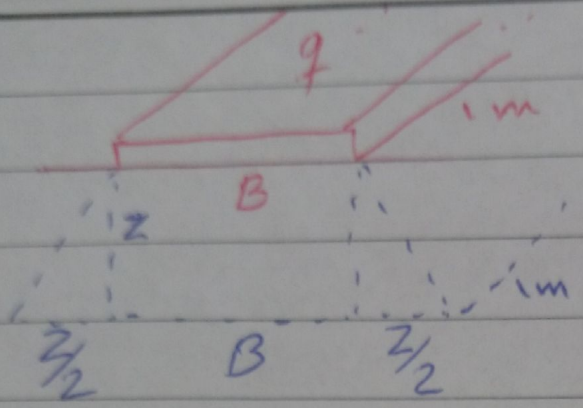
$$\Delta\sigma = \frac{P}{A} = \frac{Q\times 1}{Z\times 1} = \frac{Q}{Z}$$

NEGAR

Subject:
Year: Month: Date:

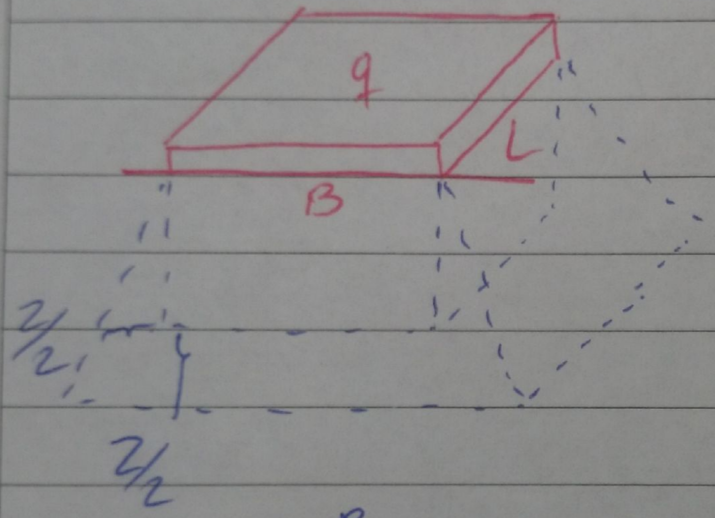
Sa Su Mo Tu We Th Fr

③ بار نواری



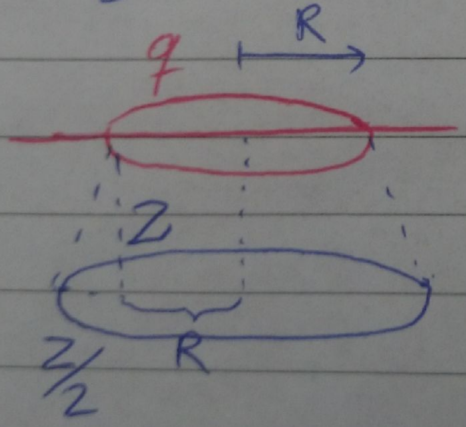
$$\Delta\sigma = \frac{P}{A} = \frac{qB \times 1}{(B+Z)\times 1} = \frac{qB}{B+Z}$$

③ بار گسترده



$$\Delta\sigma = \frac{P}{A} = \frac{qBL}{(B+Z)(L+Z)}$$

④ بار دایره‌ای



$$\Delta\sigma = \frac{P}{A} = \frac{qR^2\pi}{(R+\frac{Z}{2})^2\pi}$$

$$= \frac{qR^2}{(R+\frac{Z}{2})^2}$$

در انتقال رسی ها دلخواه است

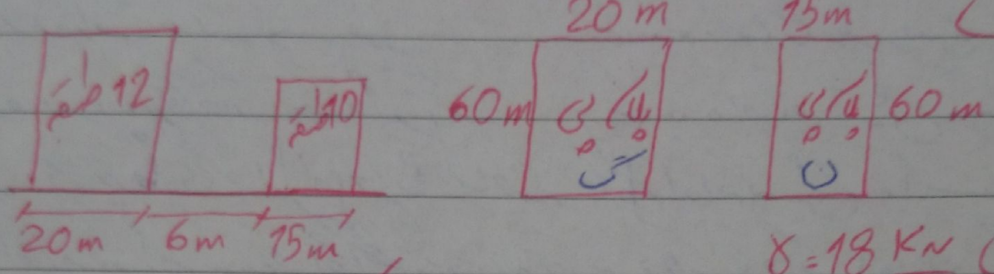
ج) مثال 1:

$PI = LL - PL = 16$ $A_Line = 0,73(36-20) = 11,68$

$PI > A_Line \Rightarrow$ خاک رس

GP-GC

مثال: تنش در خاک



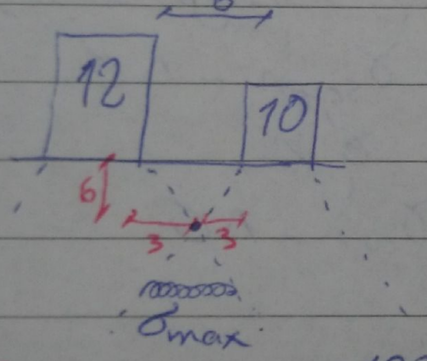
وزن مخصوص خاک $\gamma = 18 \frac{kN}{m^3}$

وزن هر طبقه $13\ kPa$

مطلوب است: الف) تنش ماکزیمم در عمق 3m

ب) " " 10m

گسترش توزیعی



$\Delta\sigma = \frac{P}{A} = \frac{qBL}{(B+2)(L+2)}$ $q = 12 \times 13$

$= \frac{156 \times 20 \times 60}{(20+3) \times (60+3)} = 129,19\ kPa$

$129,19 + \gamma h = 183,19$ (18×3)

ب) اولی

$156 \times 20 \times 60 \leftarrow$

$\Delta\sigma = \frac{187,200}{(20+10)(60+10)} = 89,14$

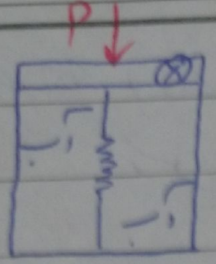
دومی نواری است

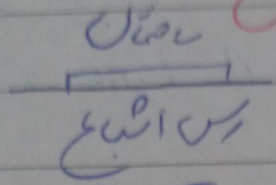
$\Delta\sigma = \frac{qB}{B+2} = \frac{10 \times 13 \times 15}{15+10} = 78$

$\Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_2 + \gamma h = 78 + 89,14 + 180 = 347,14\ kPa$

تنش موثر کوتاه مدت و بلند مدت رس

- مدل پیستون و فنر





نماینده ذرات خاک ← فنر

نماینده نفوذپذیری خاک ← شیر آب

نماینده آب های زیر زمینی ← آب

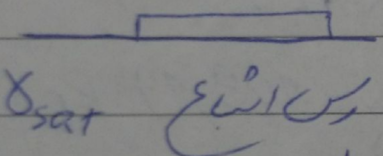
P ← نماینده اضافه تنش

نتیجه: 1- در ماه های اول احداث ساختمان کل اضافه تنش به آب های زیر زمینی وارد میشود

2- اضافه تنش به تدریج به ذرات خاک وارد میشود

3- در خاک اشباع (رس اشباع) تا مدت ها زمان به تدریج نشست ایجاد میشود

4- در بلند مدت کل اضافه تنش به ذرات خاک میرسد



کوتاه مدت:

$$\sigma = \gamma_{sat} h + \Delta\sigma$$
$$\sigma' = \gamma' h$$
$$u = \gamma_w h + \Delta\sigma$$

بلند مدت:

$$\sigma = \gamma_{sat} h + \Delta\sigma$$
$$\sigma' = \gamma' h + \Delta\sigma$$
$$u = \gamma_w h$$

حرکت آب در خاک

- نفوذپذیری: تاثیر حفرات و ارتباط حفرات در حرکت آب در خاک

وزن مخصوص ↑ ⇐ نفوذپذیری ↓ — هر چه گوشه تر و درشت دانه تر ⇐ نفوذپذیری بیشتر

$K \ (\frac{cm}{s})$

روش های محاسبه: روابط هازن ماسه $K = 0.01 D_{10}^2$

روش های تجربی: روابط کوزنی کارمان رس $K \sim \frac{e^3}{e+1}$

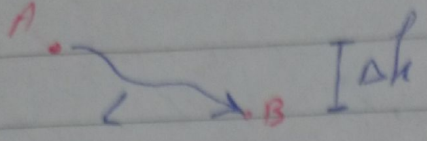
روش های آزمایشی:
- آزمایش بار ثابت
- آزمایش بار افتان

i همه جا برابر است (کل مسیر)

Subject: Year: Month: Date:

Sa Su Mo Tu We Th Fr

- گرادیان هیدرولیکی



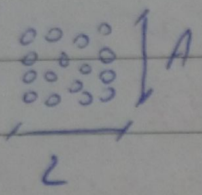
$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

- قانون دارسی

$$V = K\, i$$

K ← جنس ، i ← انرژی ارتفاعی

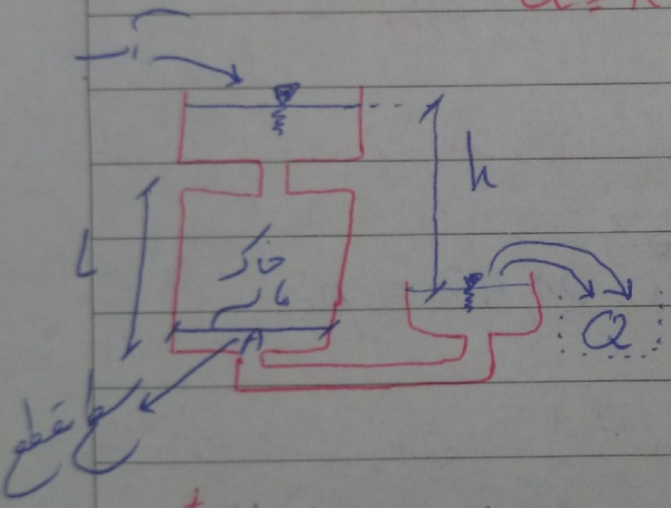
دبی $Q = \dfrac{\text{حجم}}{\text{زمان}}$



$$Q = \frac{AL}{t} = A \times \frac{L}{t} = A \cdot V \quad (V = Ki)$$

$$Q = KiA$$

- آزمایش بار ثابت (ماسه)



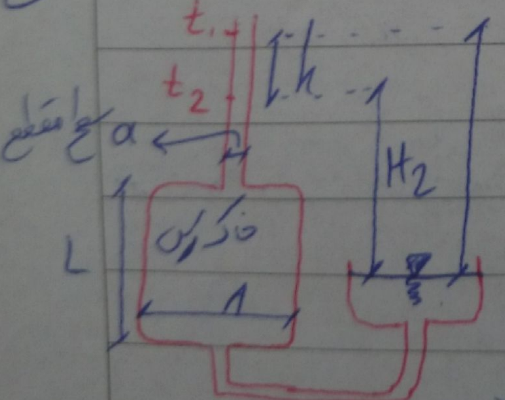
حدودی K: ماسه

$$Q = KiA = K\frac{h}{L}A$$

← طول نمونه

$$K = \frac{QL}{HA}$$

- آزمایش بار افتان



$$Q = KiA = K\frac{H_2 - H_1}{L}A = K\frac{h}{L}A$$

$$Q = \frac{\text{حجم}}{\text{زمان}} = \frac{a\,dh}{dt}$$

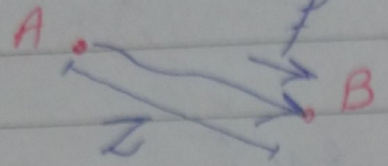
$$\Rightarrow \frac{Kh}{L}A = \frac{a\,dh}{dt} \Rightarrow \frac{KA}{La}dt = \frac{dh}{h}$$

$$\Rightarrow \int_{t_1}^{t_2} \frac{KA}{La}dt = \int_{H_1}^{H_2} \frac{dh}{h} \Rightarrow \frac{KA}{La}(t_2 - t_1) = Ln\left(\frac{H_1}{H_2}\right)$$

$$K = \frac{Ln\left(H_1/H_2\right) La}{A(t_2 - t_1)}$$

حدود اتربرگ رس نیمه‌ارب محاسبه‌ی K به وسیله‌ی چاه پمپاژ

فشار تراوش

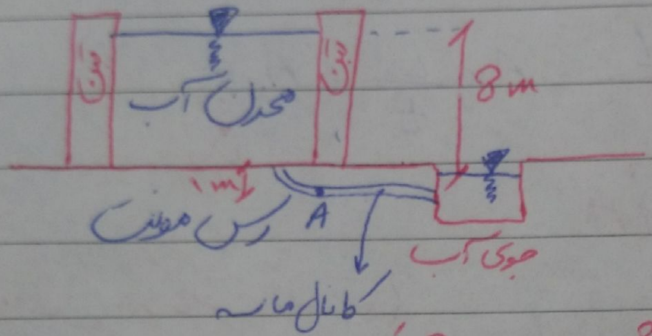


$f = i\gamma_w Z$ Z: فاصله از منبع

$\sigma' = \sigma'_{static} + f$

← در طول حرکت آب

مثال ۱:



رس $\begin{cases} \gamma = 18 \\ \gamma_{sat} = 21 \end{cases}$

ماسه $\begin{cases} \gamma = 17 \\ \gamma_{sat} = 20 \end{cases}$

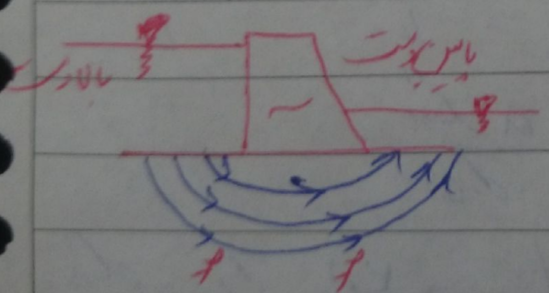
طول کانال = 7m   مقطع کانال = $0,5\ m^2$ $\sigma'_A = ?$

$\sigma'_A = \sigma_{static} + f = \gamma'_{رس} h + i\gamma_w Z$

$(20-10)(1) + (8/7)(10)(4) = 21,42\ kPa$

حرکت آب به سمت پایین: $\sigma' = \sigma'_{static} + f$ $\sigma'_{static} \downarrow \quad \downarrow f$

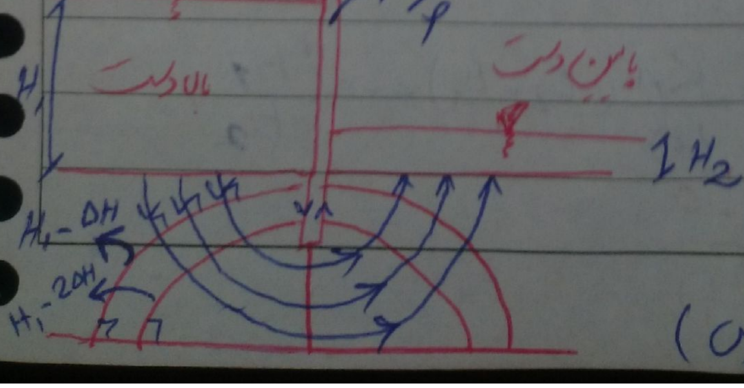
" " بالا: $\sigma' = \sigma'_{static} - f$ " $\downarrow \quad \uparrow f$



جهت f هم‌جهت با جهت حرکت آب

شبکه جریان:

- تراوش دو بعدی آب



لایه نفوذناپذیر (مثل سنگ، رس)

Subject:
Year: Month: Date:
Sa Su Mo Tu We Th Fr

خطوط جریان: مسیر حرکت آب

کانال جریان: محدوده بین دو خط جریان

خطوط هم پتانسیل: افت انرژی آب در اثر اصطکاک
به هر خط که میرسه به اندازه Δh انرژی کم میشه

$\Delta H = H_1 - H_2$ N_d = تعداد خطوط هم پتانسیل N_f = تعداد خطوط جریان

$$\Delta h = \frac{\Delta H}{N_d}$$ افت هر خط هم پتانسیل

چشمه: محدوده بین دو خط جریان و دو خط هم پتانسیل

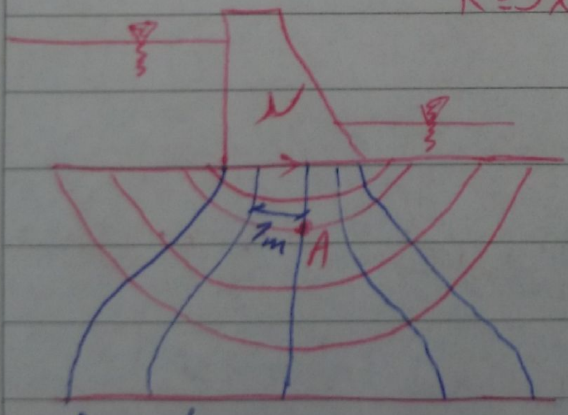
$i_{\text{چشمه}} = \frac{\text{افت}}{\text{طول}} = \frac{\Delta h}{l}$ → طول چشمه

$f = i\,\gamma_w\,Z$ فشار تراوش

مثال: $K = 3\times10^{-4}\ \frac{cm}{s}$ ، $H_1 = 20\,m$, $H_2 = 3\,m$

$\gamma_{sat} = 22\ KN/m^3$

$\sigma'_A = ?$ در ۴ متری از سطح زمین



A → f

σ static

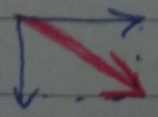
$N_d = 5$

$\Delta H = 20 - 3 = 17$

$\Delta h = \frac{17}{5} = 3,4$

$i = \frac{\Delta h}{l} = \frac{3,4}{1} = 3,4$ $f = 3,4 \times 10 \times 4 = 136$

$\sigma'_{static} = \gamma' h = (\gamma_{sat} - \gamma_w)h = (22-10)\times 4 = 48$



$\sigma' = \sqrt{(48)^2 + (136)^2} = 144,4\ Kpa$

NEGAR

$\theta = tg^{-1}\left(\frac{48}{136}\right) = 36.4^\circ$

Subject:
Year: Month: Date:

Sa Su Mo Tu We Th Fr

دبی آب ورودی به پایین دست

$$Q = K \, \Delta H \frac{N_f}{N_d}$$

$$Q = 3\times10^{-4} \times 10^{-2} \times 17 \times \frac{5}{5} = 51\times10^{-6} \; \frac{m^3/s}{m}$$

طول عمود بر صفحه

جوشش

پایین دست : $\sigma' = \sigma'_{static} - f$

خاک مقاومت خود را از دست میدهد

$f \geq \sigma'_{static}$ $\sigma' \leq 0 \rightarrow$ جوشش

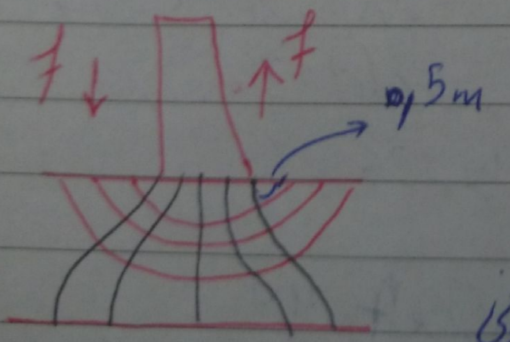
ضریب اطمینان جوشش $FS = \frac{\sigma'_{static}}{f}$

$FS > 1$ سالم $FS \leq 1$ جوشش

$$FS = \frac{\sigma'_{static}}{f} = \frac{\gamma' Z}{i \gamma_w Z} = \frac{\gamma'/\gamma_w}{i} = \frac{i_{cr}}{i}$$

$i_{cr} = \frac{\gamma'}{\gamma_w}$ گرادیان بحرانی

مثال: در ~~مثال~~ مثال قبل اگر طول چشمه 0,5m باشد آیا جوشش رخ میدهد؟



$FS = \frac{i_{cr}}{i} = \frac{1,2}{6,8} = 0,17$

گرادیان بحرانی $= \frac{(22-10)}{10} = 1,2$ $i > i_{cr}$

جوشش رخ میدهد

$i = \frac{3,4}{0,5} = 6,8$

چه ارتفاعی فلو بدیم رخ نده؟ $\gamma = 23$

NEGAR

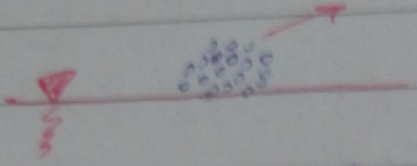
$\sigma'_{static} + \gamma_{\text{فلو شد}} \times x > f$

Subject:
Year: Month: Date:

Sa Su Mo Tu We Th Fr

موئینگی :

ماسه ریز

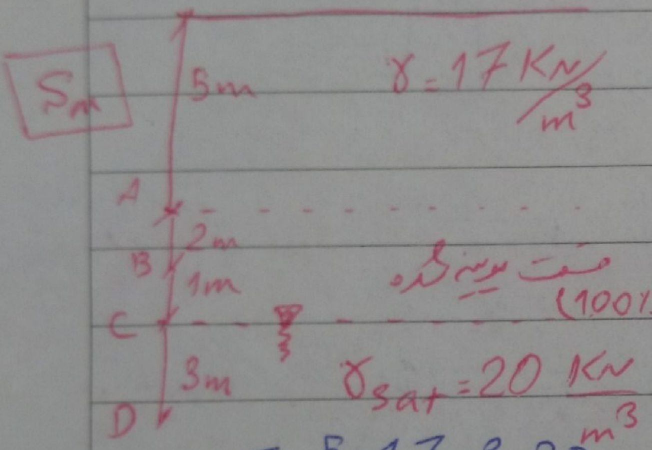


آب به سمت بالا ← برخلاف جاذبه ⊖

u ← فشار آب حفره ای

به حفره ها وارد میشود

$$\sigma' = \sigma - u$$



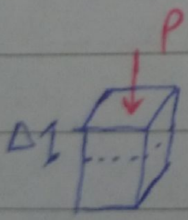
A: $\begin{cases} \sigma = 5\times 17 \\ u = -\gamma_w h = -10\times 3 \end{cases}$ (h: طول موئینگی)

B: $\begin{cases} \sigma = 5\times 17 + 2\times 20 \\ u = -\times 10\times 1 \end{cases}$

C: $\begin{cases} \sigma = 5\times 17 + 3\times 20 \\ u = 0 \end{cases}$ $\sigma' = \sigma - u$

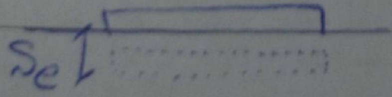
D: $\begin{cases} \sigma = 5\times 17 + 3\times 20 + 3\times 20 \\ u = +10\times 3 \end{cases}$ $\sigma' = \sigma - u$

فصل سوم نشست خاک



$$\Delta = \frac{PL}{EA}$$

نشست الاستیک خاک S_e

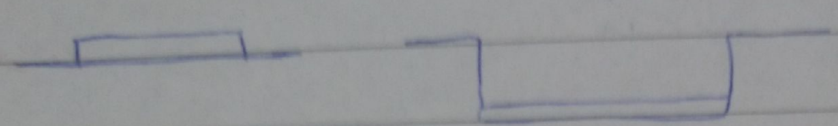


$$S_e = \frac{qB}{E}(1-\nu^2) I_1 I_2$$

q تنش زیر پی — B عرض پی

E مدول الاستیسیته خاک — ν ضریب پواسون — I_1 ضریب شکل — I_2 ضریب عمق

برای گودبرداری استفاده میشود (ضریب کاهشی $I_2 < 1$)

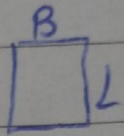


پایین تر سمت خاک سفت تر

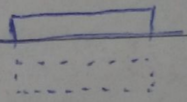
$I_2 < 1 \Rightarrow I_2 = 1$ در جهت اطمینان همیشه

$$I_1 = \frac{1}{\pi}\left[m_1 Ln\left(\frac{1+\sqrt{1+m_1^2}}{m_1}\right) + Ln\left(m_1+\sqrt{1+m_1^2}\right)\right]$$ انعطاف پذیر

$m_1 = \frac{L}{B}$ L: طول پی B: عرض پی

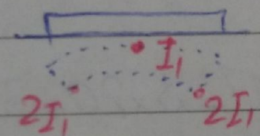


پی صلب: تغییر شکل نسبی ندارد

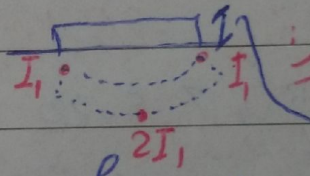


پی انعطاف پذیر:

ماسه



رس



پی صلب بیشتر است - صحیح تر، ولی صلب میشه (غیر اقتصادی)

I_1 صلب $= \dfrac{I_1 \text{ گوشه} + I_1 \text{ وسط}}{2} = \dfrac{3}{2} I_1$ انعطاف پذیر

$\beta = \sqrt[4]{\dfrac{B K_s}{4 E_f I_f}}$ بولوس

$\beta L < 1,75$ صلب $\beta L > 1,75$ انعطاف پذیر

K_s ضریب بستر E_f مدول الاستیسیته پی

I_f ممان اینرسی پی

حل تمرین

Subject:
Year: Month: Date:

Sa | Su | Mo | Tu | We | Th | Fr

مثال: در یک خاک مرطوب، وزن مخصوص $\gamma_t = 19 \frac{KN}{m^3}$ و $\gamma_d = 17 \frac{KN}{m^3}$ و $\gamma_{sat} = 21 \frac{KN}{m^3}$ می‌باشد در $1\ m^3$ از این خاک در حالت‌های خشک، و اشباع و طبیعی مقدار وزن دانه جامد و آب چقدر می‌باشد؟

$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \rightarrow 17 = \frac{W_s}{1} \rightarrow W_s = 17\ KN$

$\gamma_t = \frac{W_s + W_w}{V} \rightarrow 19 = 17 + W_w \rightarrow W_w = 2\ KN$

$\gamma_{sat} = \frac{W_s + W_{w\,(\text{اشباع})}}{V} \rightarrow W_{w\,(\text{اشباع})} = 4\ KN$

$2,2 < G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{W_s}{V_s \gamma_w} < 2,8$ چگالی نسبی دانه‌های جامد؛ نوع و ویژگی خاک

مثال: یک نمونه خاک مرطوب به حجم $100\ cm^3$ وزن 200gr پس از خشک شدن در کوره ۲۰٪ از وزنش کاسته می‌شود اگر وزن مخصوص دانه‌های جامد خاک برابر $2,5 \frac{gr}{cm^3}$ باشد در این صورت حجم حفرات چند cm^3 است؟

$W = 200gr \qquad W_s = 160gr$

$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \rightarrow 2,5 = \frac{160}{V_s} \rightarrow V_s = 64 \qquad V = V_s + V_v \rightarrow V_v = 36$

$n = \frac{e}{1+e} \qquad W_T = W_s(1+\omega) \qquad \omega G_s = S_r e$

مثال: یک نمونه خاک مرطوب به وزن 180gr و حجم $100\ cm^3$ پس از خشک شدن در کوره 30gr از وزن آن کاسته می‌شود اگر چگالی دانه‌های جامد $G_s = 2,5$ باشد الف) نسبت تخلخل و تخلخل ب) میزان رطوبت و درصد اشباع ج) وزن مخصوص‌های مرطوب، خشک و اشباع خاک

$\gamma_w = 1 \frac{gr}{cm^3} \qquad n = \frac{e}{1+e} = \frac{V_v}{V} = \frac{۴۰}{۱۰۰} = ۰/٤ = \frac{۲/۳}{1+۲/۳}$

$\omega = \frac{W_w}{W_s} = \frac{۳۰}{۱۵۰} = ۲۰٪ \qquad \gamma_{sat} = \frac{(G_s+e)\gamma_w}{1+e} = 1,9 \frac{gr}{cm^3}$

$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1+e} = \frac{۲,۵۱}{4/3} = ۱,۵ \frac{gr}{cm^3}$

مثال) یک نمونه خاک به وزن 150 g و رطوبت 20٪ موجود است این نمونه پس از خشک شدن در کوره جهت آزمایش دانه بندی با الک قرار گرفته شده و درصد باقیمانده در بالای الک No 200 برابر با 80٪ و درصد عبوری از الک No 4 برابر با 50٪ است. مقدار ریزدانه و شن و ماسه در این خاک چند گرم است؟

$W = 1500\ gr \qquad \omega = 20\%$

$W = W_s(1+\omega) \rightarrow W_s = 1250\ gr$ ($W = 1500$، $\omega = 0.2$)

درصد وزنی شن $= 100 - F_4 = 50$ $\frac{50}{100} = \frac{x}{1250} \rightarrow$ وزن شن $= 625\ gr$

درصد وزنی ماسه $= F_4 - F_{200} = 50 - 20 = 30$

$\frac{30}{100} = \frac{x}{1250} \rightarrow$ وزن ماسه $= 375\ gr$

درصد وزنی ریزدانه $= F_{200} = 20\%$ $\frac{20}{100} = \frac{x}{1250} \rightarrow$ وزن ریزدانه $= 250\ gr$

★ حد روانی خاکی ۴۰ و حد خمیری آن ۳۰ اگر فرض شود حد انقباض آن ۲ برابر دامنه خمیری باشد و $G_s = 2.7$ در نظر گرفته شود وزن مخصوص خاک در رطوبت برابر حد انقباض را حساب کنید $\gamma_w = 10\ \frac{kN}{m^3}$

$SL = 2PI = \omega \qquad \gamma_{sat} = ?$

$= 2(40 - 30) = 20\%$

$$\gamma_{sat} = \frac{(G_s + e)\gamma_w}{1+e} = \frac{(2.7 + 0.54) \times 10}{1 + 0.54} = 21\ kN$$

$S_r e = G_s \omega \rightarrow e = 0.54$

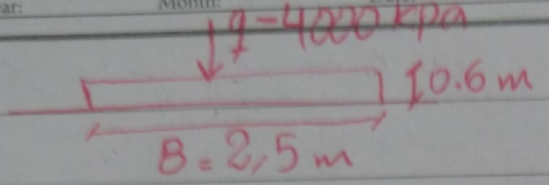
میان ترم 22 اردیبهشت 1:30 تا 3:30

فصل 1 + فصل 2 به غیر از تداوش

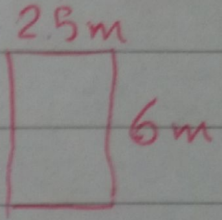
Subject:
Year: Month: Date:

Sa | Su | Mo | Tu | We | Th | Fr

مثال



$K_s = 2.9 \frac{kg}{cm^3}$



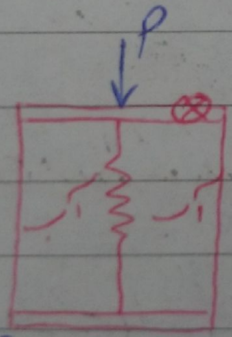
$E=60\ Mpa \quad \nu=0.3 \quad E_p=20000\ Mpa$

$S_e = ?$ SW

$$I_1 = \frac{1}{\pi}\left[2.4\,Ln\left(\frac{1+\sqrt{1+2.4^2}}{2.4}\right) + Ln\left(2.4+\sqrt{1+2.4^2}\right)\right] = 0.82$$

$$S_e = \frac{4000\times 2.5}{60\times 10^3}(1-0.09)\times 2(0.82)\times \frac{1}{2} = 0.24\ m = 240\ mm$$

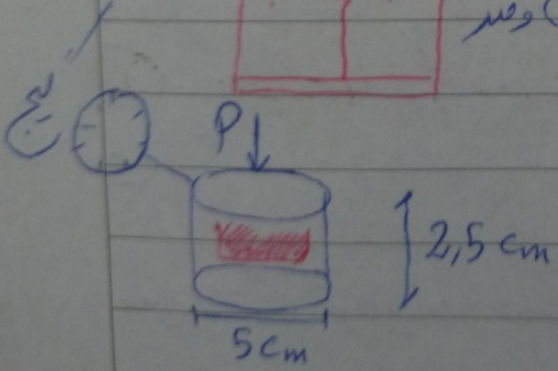
$$\beta = \sqrt[4]{\frac{2.5\times 2.9\times 10^4}{10^3\times 20000\times \frac{2.5\times 0.6^3}{12}}}$$



نشست تحکیم

فقط برای خاک‌هایی که داخل آنها ریزدانه باشد

مثل پیستون و فنر

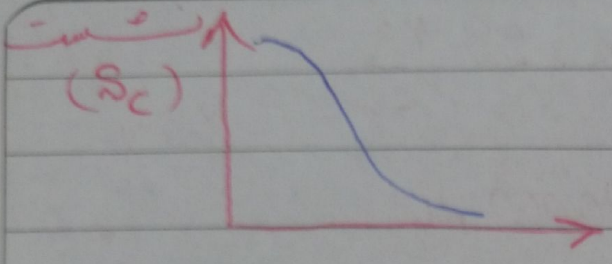


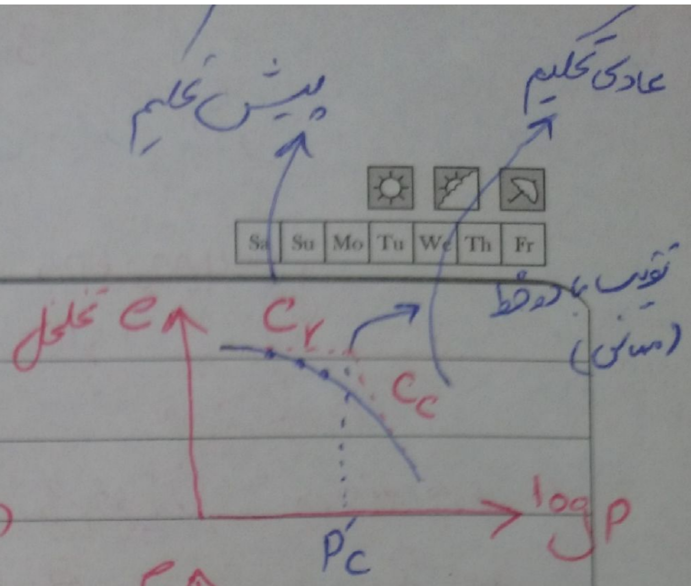
آزمایش ادومتر (تحکیم)

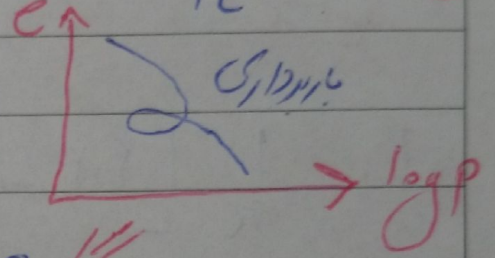
نتیجه: مقدار نشست را به ما میدهد

$p = 25\ Kpa \quad t = 30^s, 1^{min}, 2, 4, 8, 15, 30, 1^h, 2, 4, 8, 16, 24^h$

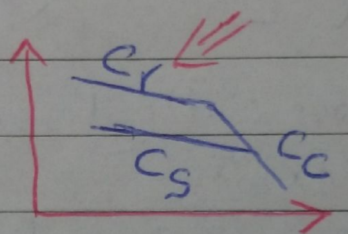
$p = 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200\ Kpa$







باربرداری حفاری که زمانی پیش را از زمین می برد



C_r = ضریب فشردگی مجدد   recompresiono coficient

C_c = ضریب فشردگی   Compresion   ״

C_s = ضریب تورم   swell   ״

انواع رس از نظر تاریخی:
۱- رس پیش تحکیم
۲- رس عادی تحکیم

(1) - خاک رسی است که در تاریخچه‌ی خود تنشی بیش از تنش موجود را تحمل کرده است

(2) " " " " " " " " تحمل نکرده است

قبلی ساختمانی روی خاک بوده خراب کردن   یا   ∩ ⇒ M   پیش تحکیم

نسبت پیش تحکیمی $OCR = \frac{\text{بیشترین تنش موثر تاریخی}}{\text{تنش موثر در جا}} = \frac{P'_c}{P_0}$

$OCR > 1$ پیش تحکیم $OCR = 1$ عادی تحکیم

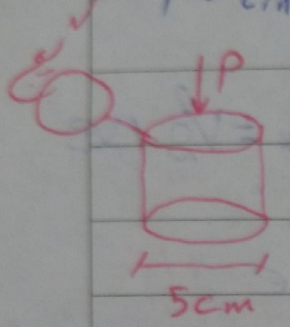
Subject:
Year: Month: Date:
Sa Su Mo Tu We Th Fr

$LL = 60 \quad PL = 50 \quad PI = LL - PL = 10$

$PI_{line} = 0.73(LL - 20) = 0.73(60 - 20) = 29.2$

$PI_{line} > PI \rightarrow MSU$

مثال)



$C_c = ?$ و $C_s = ?$

$W_s = 70\ gr \quad G_s = 2.7 \quad OCR = 1.1$

$\gamma_w = 10\ kN/m^3 = 1\ gr/cm^3 \quad p = 100\ kPa$ نشست $= 0.9\ mm$

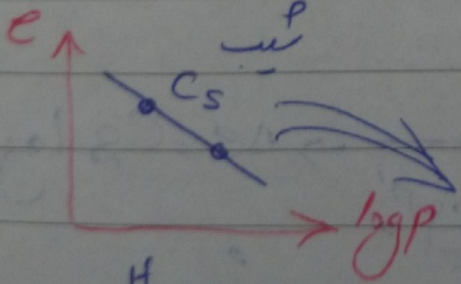
$p = 400\ kPa$ نشست $= 6.1\ mm$

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{H_v A}{H_s A} = \frac{H_v}{H_s}$$

$H = H_v + H_s$ (ارتفاع خاک داخل دستگاه ادومتر)

$$\Rightarrow e = \frac{H - H_s}{H_s} \quad (I)$$

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{W_s}{V_s \gamma_w} = \frac{W_s}{A H_s \gamma_w} \rightarrow H_s = \frac{W_s}{A G_s \gamma_w} \quad (II)$$



$$H_s = \frac{70}{\frac{\pi}{4} \times 5^2 \times 2.7 \times 1} = 1.32\ cm = 13.2\ mm$$

$$e = \frac{25 - 0.9 - 13.2}{13.2} = 0.82$$

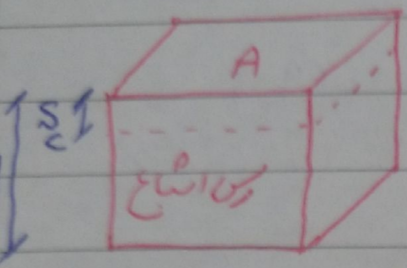
$$e = \frac{25 - 6.1 - 13.2}{13.2} = 0.43$$

$$C_s = \frac{0.82 - 0.43}{\log 400 - \log 100} = 0.62$$

NEGAR

Subject:
Year: Month: Date:
Sa Su Mo Tu We Th Fr

محاسبه نشست تحکیم



$$\Delta V = V_0 - V_f = HA - (H - S_c)A = S_c A \quad (I)$$

V_0 حجم اولیه — V_f حجم نهایی

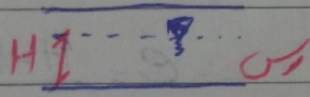
تغییرات حجم = تغییرات حجم حفره‌ها

$\Delta V = \Delta V_v$

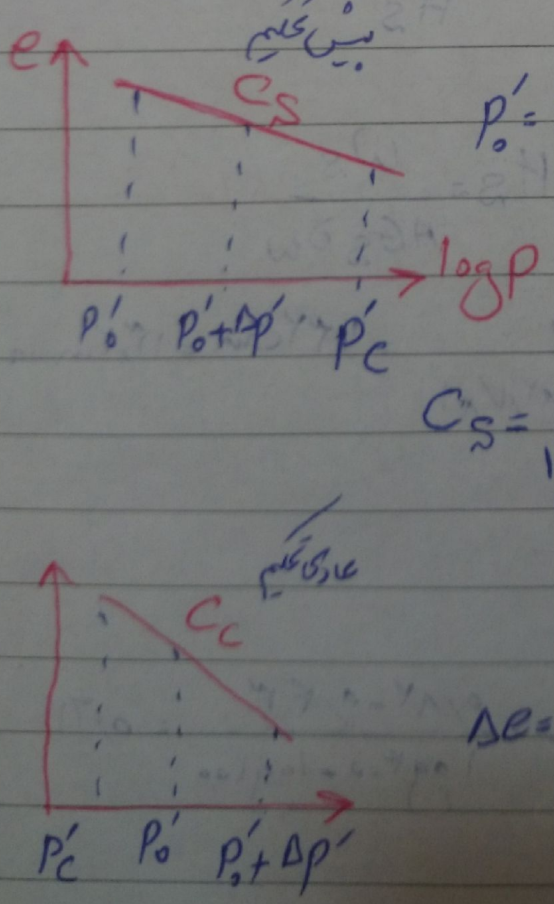
$$e = \frac{V_v}{V_s} \rightarrow \Delta e = \frac{\Delta V_v}{V_s} \rightarrow \Delta V_v = V_s \Delta e$$

حالت اول: $V_s = \frac{V_0}{1+e_0} \Rightarrow \Delta V_v = \frac{V_0}{1+e_0}\Delta e = \frac{HA}{1+e_0}\Delta e \quad (II)$

$$I = II \Rightarrow S_c A = \frac{HA}{1+e_0}\Delta e \rightarrow S_c = \frac{H}{1+e_0}\Delta e$$



H ضخامت رس اشباع



تنش موجود = تنش های خاک قبل از احداث ساختمان: P'_0

$\Delta P'$: اضافه تنش ساختمان $(\Delta\sigma)$

$\Delta e = ?$

$$C_s = \frac{\Delta e}{\log(P'_0 + \Delta P'_0) - \log P'_0} \rightarrow \Delta e = C_s \log\left(\frac{P'_0 + \Delta P'}{P'_0}\right)$$

شیب $C_c > C_s$

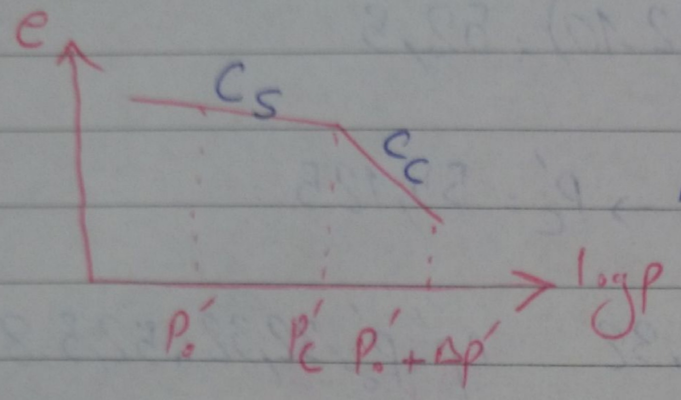
$$\Delta e = C_c \log\left(\frac{P'_0 + \Delta P'}{P'_0}\right)$$

NEGAR

Subject:
Year: Month: Date:

Sa Su Mo Tu We Th Fr

حالت ترکیبی



$$\Delta e = C_s \log\left(\frac{p'_c}{p'_0}\right) + C_c \log\left(\frac{p'_0+\Delta p'}{p'_c}\right)$$

جمع بندی :

① محاسبه p'_0 با لحاظ لایه بندی اشباع — $p'_0 = \sum \gamma' h$

② محاسبه فشار پیش تحکیمی (تنش تاریخچه) p'_c — $OCR = \frac{p'_c}{p'_0}$

③ محاسبه $\Delta p'$ | روش حل: $\Delta p' = \Delta\sigma_m$

روش سیمپسون: $\Delta p' = \frac{\Delta\sigma_t + 4\Delta\sigma_m + \Delta\sigma_b}{6}$

(t, m, b)

④ محاسبه Δe با توجه به ۳ حالت ⑤ محاسبه S_c از فرمول

مثلا پی گسترده : $\Delta\sigma = \frac{qBL}{(B+Z)(L+Z)}$

مثال :

ابعاد 2×1 m — انعطاف پذیر — $q = 400$ kPa

1,5 m — CH — $\gamma = 19\ kN/m^3$ — $\nu = 0{,}3$

t — $E = 70$ MPa — $\gamma_{sat} = 22\ kN/m^3$

4m — CH — m — $e_0 = 0{,}8$ — $OCR = 1{,}05$

b — $C_c = 0{,}32$ — $C_s = 0{,}043$

GW

نشست کل $S = ?$

$I_1 = 0{,}76$ $I_2 = 1$

$$S_e = \frac{qB}{E}(1-\nu^2) I_1 I_2 \qquad S_e = \frac{400\times1}{70\times10^3}(1-0{,}09)\,0{,}76\times2$$

$= ۰/۰۰۷\ m = ۷\ mm$

Subject:
Year: Month: Date:

Sa Su Mo Tu We Th Fr

$p'_0 = \sum \gamma' h = 19 \times 1,5 + 2(22-10) = 52,5$

$OCR = \frac{p'_c}{p'_0} \rightarrow 1,05 = \frac{p'_c}{52,5} \rightarrow p'_c = 55,125$

$\Delta\sigma = \Delta p' = \frac{400 \times 2 \times 1}{(2+B)(2+L)} = 32,32$ $\quad \Delta p' + p'_0 = 32,32 + 52,5 = 84,82$

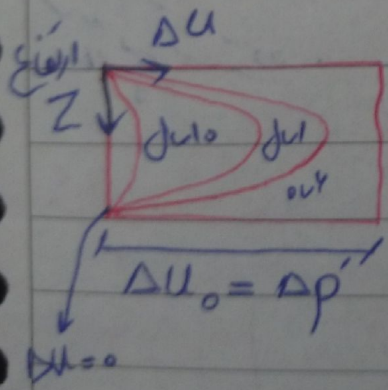
$3,5+2 \quad 3,5+1$

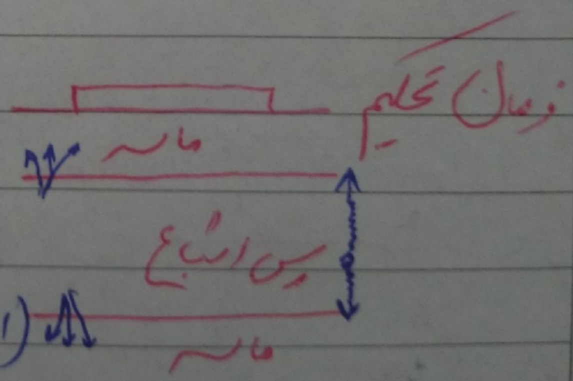
$\Delta e = C_s \log\left(\frac{p'_c}{p'_0}\right) + C_c \log\left(\frac{p'_0 + \Delta p'}{p'_c}\right) = 0,043 \log\left(\frac{55,125}{52,5}\right)$

$+ 0,32 \log\left(\frac{84,82}{55,125}\right) = 0,06$ $\quad S_c = \frac{H}{1+e_0} \Delta e$

$= \frac{4}{1+0,8} \times 0,06$ $\quad S_c = 0,13 = 130\ mm$ $\quad S = S_c + S_e = 130 + 7$

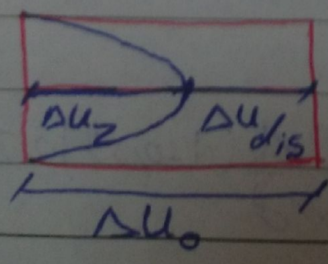
$S < 25mm$ نظام مهندسی





(اول احداث) کوتاه مدت

Δu { وابسته ارتفاع — وابسته زمان



Δu_{dis} — اضافه فشار آب حفره‌ای زائل شده

dissipate زائل شدن

NEGAR

Subject:
Year: Month: Date:

Sa Su Mo Tu We Th Fr

درجه تحکیم $U_Z = \frac{\Delta U_{dis}}{\Delta U_0}$

میانگین U_Z : $U = \frac{\int U_Z \, dZ}{\int dZ}$

$U = \frac{S_t}{S_c}$

S_t = نشست بعد از گذشت t سال

drain زهکش

time factor

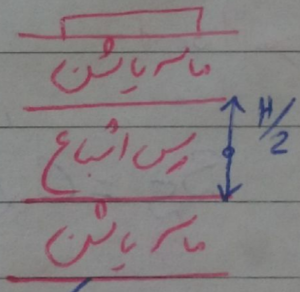
$u = \frac{S_t}{S_c}$ $T_v = \frac{C_v t}{H_{dr}^2}$ زمان تحکیم

H_{dr} طول زهکش

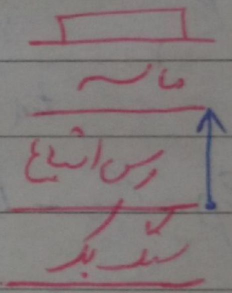
جدول زمان تحکیم

T_v	0	0,008	0,031	0,071	0,126	0,197	0,287	0,403	0,567	0,848	∞(2)
u	0	10%	20%	30	40	50	60	70	80	90	100%

$H_{dr} = \begin{cases} \frac{H}{2} & \text{دو طرف زهکش} \\ H & \text{یک طرف زهکش} \end{cases}$



دو طرف زهکش



یک طرف

مثال: در مثال قبل $C_v = 1,8\ \frac{m^2}{year}$ معلوم است.

a) مقدار نشست تحکیم بعد از گذشت یک سال

b) زمان لازم برای کل نشست تحکیم

0,071	30
0,112	x
0,126	40

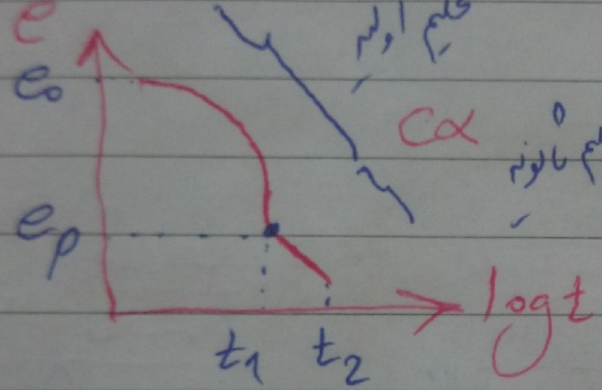
$x = 30 + \frac{30-40}{0,071 - 0,126}(0,112 - 0,071) = 37$

$T_v = \frac{C_v t}{H_{dr}^2} = \frac{1,8 \times 1}{(4)^2} = 0,112$ $S_t = u \times S_c = 130 \times 37,45\%$ mm

$T_v = \frac{C_v t}{H^2} \rightarrow 2 = \frac{1,8 \times t}{16} \rightarrow t = 17,77$ سال

تحکیم ثانویه: بعد از اتمام تحکیم اولیه و زائل شدن تمام آب حفره‌ای ($u = 100\%$) پولک های رس دچار خوابیدگی و جمع شدگی می‌شوند این تحکیم را تحکیم ثانویه گویند

انتهای نمودار $e - \log t$ خطی با شیب C_α نماینده تحکیم ثانویه می‌باشد



e_p تخلخل در انتهای تحکیم اولیه

t_1 زمان انتهای تحکیم اولیه

$$e_p = e_0 - \Delta e \qquad S_s = C'_\alpha H \log\left(\frac{t_2}{t_1}\right)$$

$$C'_\alpha = \frac{C_\alpha}{1+e_p}$$

S_s نشست تحکیم ثانویه — C_α شیب خط تحکیم ثانویه

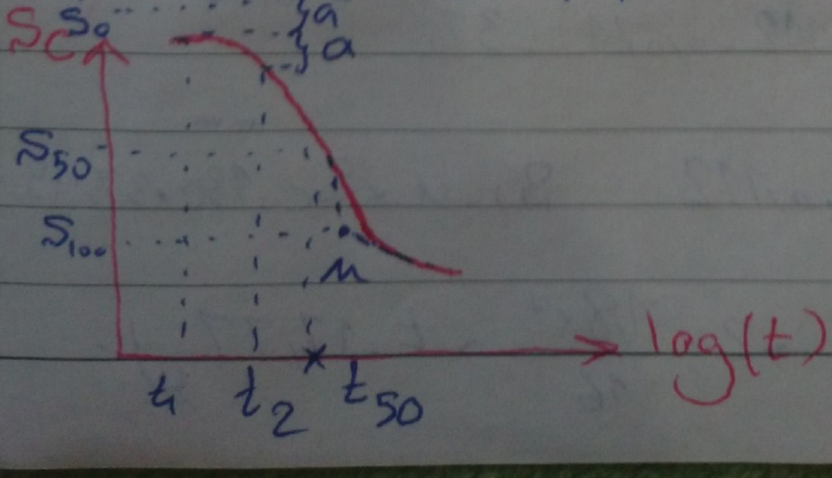
مثال: در مثال قبلی $C_\alpha = 0/02$ ، $S_s = ?$

$\Delta e = 0/06 \quad e_0 = 0/8 \quad e_p = 0/74 \quad C'_\alpha = \frac{0/02}{1+0/74} = 0/011$

$S_s = 0/011 \times 4 \times \log\left(\frac{28}{18}\right) = 0/008\,m = 8\,mm$

$S_T = S_e + S_c + S_s = 7 + 130 + 8 = 145\,mm$

محاسبه C_v



$t_2 = 4\,t_1$

Subject:
Year: Month: Date:

Sa Su Mo Tu We Th Fr

از امتداد دو قسمت انتهای نمودار نقطه M بدست می آید این نقطه متناظر با S_{100} است ـ اختلاف نشست بین زمان t_1 و $t_2 = 4t_1$ را a می نامیم ـ از نشست t_1 به اندازه a بالا رفته و آنرا S_0 می نامیم ـ نشست متوسط را برابر میانگین S_0 و S_{100} در نظر گرفته با توجه به S_{50} مقدار t_{50} بدست می آید

$$S_{50} = \frac{S_0 + S_{100}}{2}$$

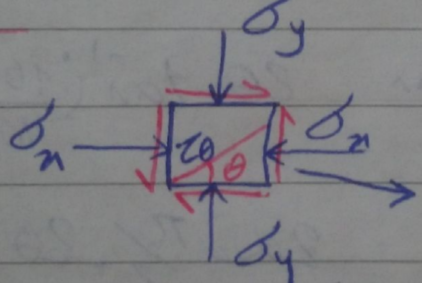
با داشتن t_{50} مقدار C_v از جدول تحکیم بدست می آید

$$T_{50} = \frac{C_v t_{50}}{H_{dr}^2} = 0{,}197$$

فصل چهارم

مقاومت برشی خاک

المان □

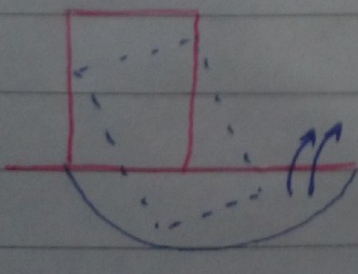


حالت تنش در یک المان سنجیده میشود

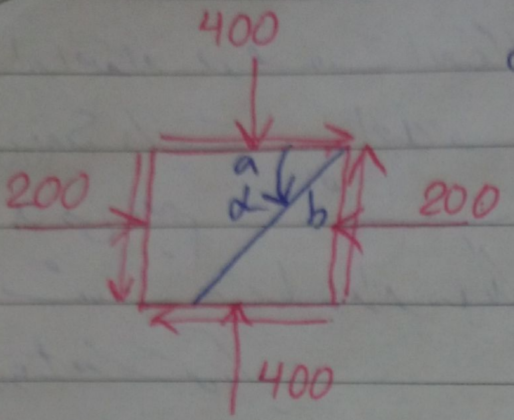
← مستقیم یعنی زلزله

$\sigma_y = \gamma h + \Delta\sigma$ $\quad \sigma_x = K_0 \sigma_y$ $\quad K_0 =$ ضریب رانش

$K_0 = 1 - \sin\phi$ $\quad \phi =$ زاویه اصطکاک خاک



Subject:
Year: Month: Date:



a | 400, -100

b | 200, 100

a) محاسبه σ_{max} و σ_{min}

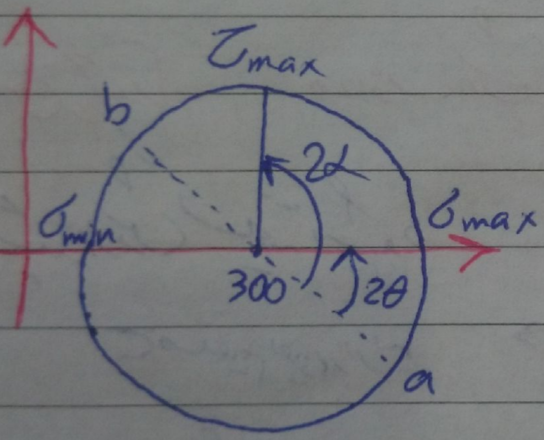
b) محاسبه τ_{max}

c) محاسبه زاویه تنش اصلی

d) محاسبه زاویه برش ماکزیمم

مرکز دایره: $C = \frac{200+400}{2} = 300$

شعاع دایره: $R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_a - \sigma_b}{2}\right)^2 + \tau^2} = \sqrt{\left(\frac{200-400}{2}\right)^2 + 100^2} = 141{,}42$

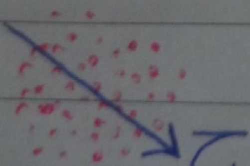


$\sigma_{max} = 441{,}42 \quad \sigma_{min} = 158{,}58$

$2\theta = \tan^{-1}\left(\frac{100}{100}\right) \rightarrow \theta = 22^\circ$

$2\alpha = \frac{\pi}{2} + 2\theta \rightarrow \alpha = 67{,}5^\circ$

مقاومت برشی توده خاک



$\tau_f = \mu N +$ چسبندگی خاک

(τ_f: مقاومت خاک)

$\tau_f = tg\phi + C$

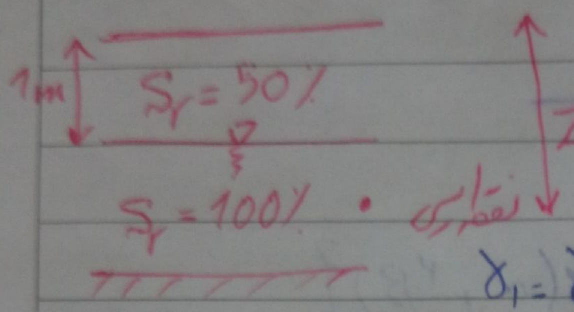
NEGAR

حل تمرین

Subject: Year: Month: Date:

Sa Su Mo Tu We Th Fr

خاک رسی با $G_s=2{,}7$ و $e=1$ در چه عمقی از سطح خاک تنش موثر و فشار آب حفره‌ای با هم برابرند؟ $\gamma_\omega=10$



$u=\gamma_\omega h=10\times(Z-1)$

$\sigma'=\gamma_1 h_1+\gamma'_2 h_2$

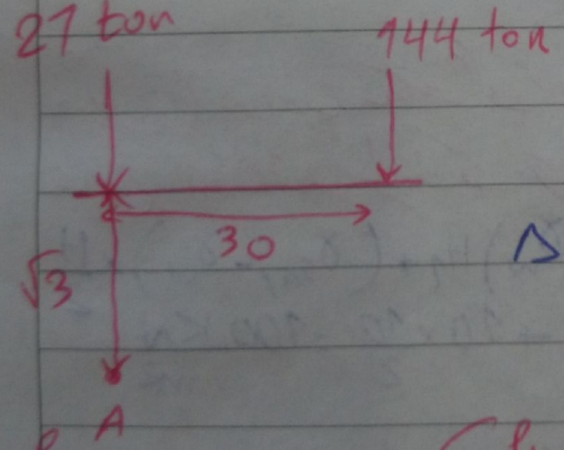
$$\gamma_1=\gamma_t=\frac{G_s\times\gamma_\omega(1+\omega)}{1+e}=\frac{2{,}7\times10(1+0{,}185)}{1+1}=16$$

$S_r e=G_s\omega \Rightarrow \omega=0{,}185$

$$\gamma_{sat}=\frac{(G_s+e)\gamma_w}{1+e}=\frac{(2{,}7+1)\times10}{1+1}=18{,}5\ \frac{kN}{m^3}$$

$\gamma'=\gamma_{sat}-\gamma_w=8{,}5 \qquad \sigma'=16\times1+8{,}5(Z-1)$

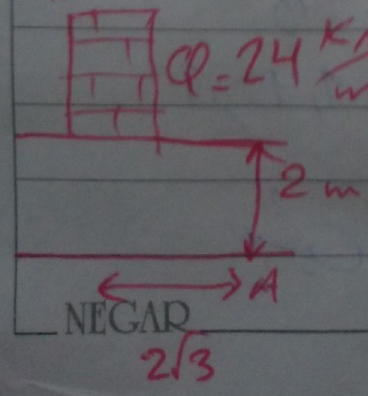
$u=10(Z-1) \rightarrow Z=11{,}67\ m$



$$\Delta\sigma_{Z_1}=\frac{3\times27}{2\times\pi\times(\sqrt3)^2}=4{,}5$$

$$\Delta\sigma_{Z_2}=\frac{3\times144}{2\times\pi\times(\sqrt3)^2}\left[\frac{1}{1+\left(\frac{3}{\sqrt3}\right)^2}\right]^{5/3}$$

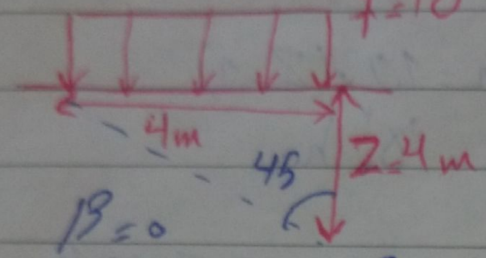
مثال) یک دیوار آجری با طول زیاد ـ اضافه تنش قائم ناشی از آن در نقطه A چند $\frac{kN}{m^2}$؟

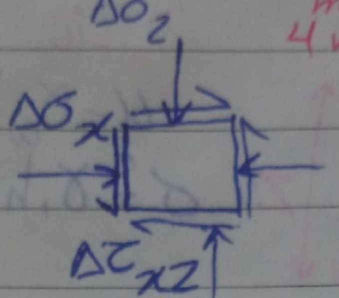


$$\Delta\sigma_Z=\frac{2\times24\times2^3}{3\left((2\sqrt3)^2+2^2\right)^2}=0{,}5$$

ناکامل - روابط وزنی حجمی - تنش موثر γh - اضافه تنش (بوسینسک / ۲ به ۱) - مویینگی

یک بار نواری با شدت ثابت $18 \frac{KN}{m^2}$ و به عرض 4m - تنش قائم و افقی و برشی در زیر گوشه سطح بارگذاری، و عمق 4m





قائم $\Delta\sigma_z = \frac{q}{\pi}\left[\alpha + \sin\alpha \cos(\alpha + 2\beta)\right]$

$= \frac{18}{\pi}\left[\pi/4 + \sin\pi/4 \cos(\pi/4 + 0)\right] = 7{,}5$

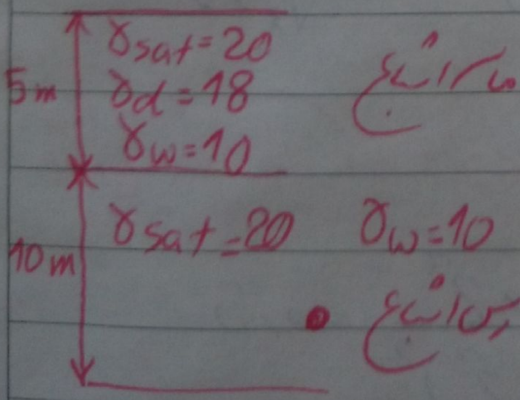
افقی $\Delta\sigma_x = \frac{18}{\pi}\left[\pi/4 - \sin(\pi/4)\cos(\pi/4)\right] = 1{,}5$

$\Delta\tau_{xz} = \frac{18}{\pi}\left[\sin\frac{\pi}{4}\sin\frac{\pi}{4}\right] = 3 \ KN/m^2$

مثال) در ابتدا ما حد بین اشباع کرده نسبت پیش تحکیمی نمونه‌ای در عمق 10 m از سطح خاک قرار دارد در وضعیت موجود (اشباع) چقدر است؟

تنش موجود $P_0' = (\gamma_{sat} - \gamma_w)H_1 + (\gamma_{sat} - \gamma_w) \times \frac{H}{2}$

$= 10 \times 5 + 10 \times \frac{10}{2} = 100 \frac{KN}{m^2}$



$P_c' = \gamma_d H + (\gamma_{sat} - \gamma_w)\frac{H}{2}$

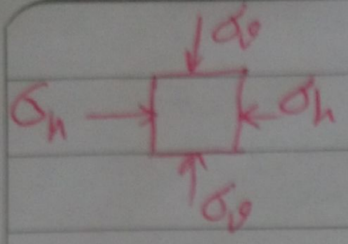
$18 \times 5 + 10 \times 5 = 140$

$\frac{P_c'}{P_0'} = OCR = \frac{140}{100} = 1{,}4 > 1$

پیش تحکیم است

Subject:
Year: Month: Date:

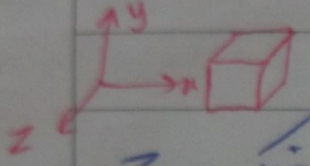
Sa | Su | Mo | Tu | We | Th | Fr



$\sigma_h = K \cdot \sigma_v \qquad \varepsilon_x = 0$

$\varepsilon = \frac{\Delta}{L} \xrightarrow{L=\infty} \varepsilon = 0$

مثل لوله‌ای نفت و گاز، مثل جهت افقی خاک



$x = Z$ خاک

$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \nu\left(\frac{\sigma_y}{E} + \frac{\sigma_z}{E}\right)$

$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \nu\left(\frac{\sigma_y}{E} + \frac{\sigma_x}{E}\right) = 0$

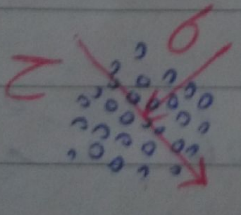
$\sigma_x - \nu\sigma_y - \nu\sigma_x = 0 \qquad \sigma_x(1-\nu) = \nu\sigma_y$

$\sigma_h(1-\nu) = \nu\sigma_v \qquad \sigma_h = \frac{\nu}{1-\nu}\sigma_v$

$K_0 = \frac{\nu}{1-\nu}$ ← مکانیک جامدات

ماسه $K_0 = 1 - \sin\phi$ رس $K_0 = (1-\sin\phi)\sqrt{OCR}$

رس
$$\begin{cases} K_0 = 0.4 + 0.007\,PI & \text{for } PI < 40 \\ K_0 = 0.64 + 0.001\,PI & \text{for } PI \geq 40 \end{cases}$$



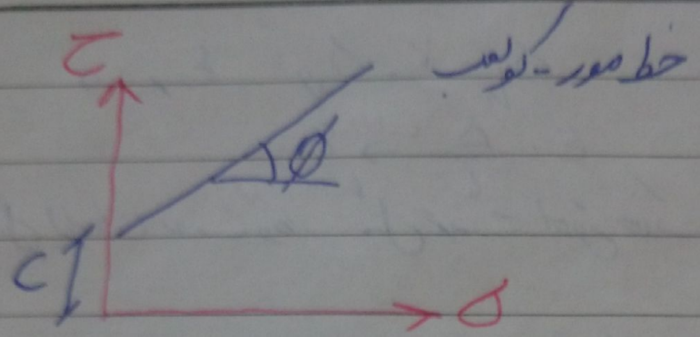
τ_f مقاومت خاک = اصطکاک + چسبندگی

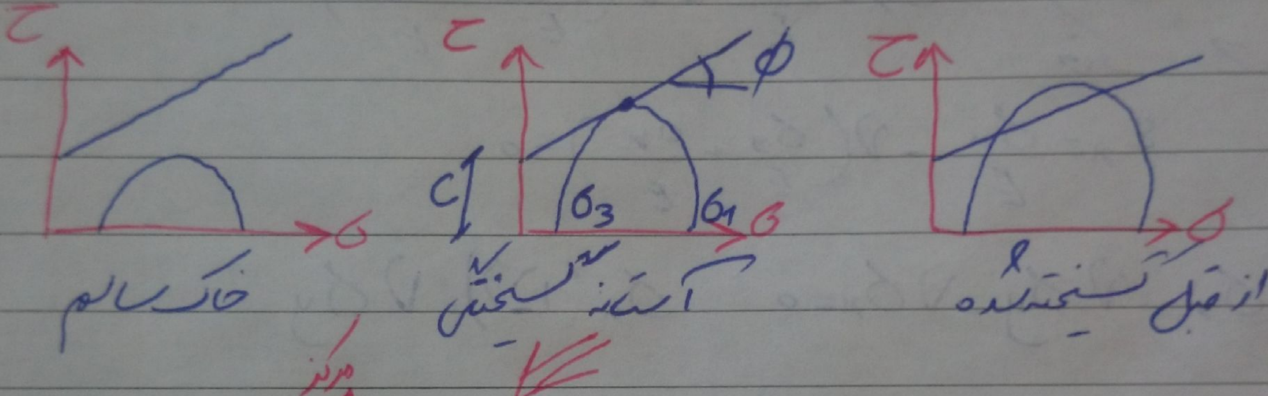
خاک گسیخته می‌شود $\tau > \tau_f$

$\tau_f = \mu N + C = tg\phi\,\sigma + C$

Subject:
Year: Month: Date:

Sa | Su | Mo | Tu | We | Th | Fr





مرکز

$\sigma_1 = \sigma_{max} = C + R$

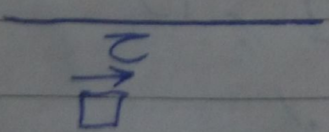
$\sigma_1 = \sigma_{min} = C - R$

$\sigma_1 = \sigma_3 \, tg^2(45 + \frac{\phi}{2}) + 2C \, tg(45 + \frac{\phi}{2})$ آستانه

$\sigma_1 <$ " " سالم

$\sigma_1 >$ " " از قبل گسیخته شده

* نیروی زلزله



$\tau = \frac{\gamma h}{g} a_{max}$

a_{max} شتاب ماکزیمم زلزله

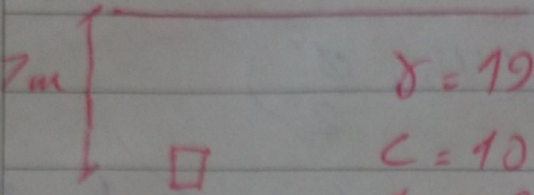
a_{max}:
- خطر زلزله خیلی زیاد : 0,35g
- خطر زلزله زیاد : 0,3g
- خطر زلزله متوسط : 0,25g
- خطر زلزله کم : 0,2g

NEGAR

Subject:
Year: Month: Date:

Sa Su Mo Tu We Th Fr

مثال) زلزله نباشد $\sigma_1 = \sigma_v$, $\sigma_2 = \sigma_h$



$\gamma = 19\ kN/m^3$

$C = 10\ kpa$

$\phi = 25°$ OCR = 1

$\sigma_v = \gamma h + \Delta\sigma = 19 \times 7 = 133\ kpa$

$\sigma_h = K \cdot \sigma_v = (1 - \sin 25°)\sqrt{1} \times 133 = 77,14\ kpa$

$C = \frac{\sigma_v + \sigma_h}{2} = \frac{133 + 77,14}{2} = 105,07\ kpa$

$R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_v - \sigma_h}{2}\right)^2 + \tau^2} = 27,93\ kpa$ ($\tau^2 \to 0$)

$\sigma_{max} = \sigma_1 = C + R = 133\ kpa$

$\sigma_{min} = \sigma_3 = C - R = 77,14\ kpa$

$\sigma_1 < 77,14\, tg^2(45 + \frac{25}{2}) + 2 \times 10\, tg(45 + \frac{25}{2})$

$133 < 221,45$ خاک سالم می‌ماند

$\tau = \frac{\gamma h}{g} a_{max} = 19 \times 7 \times 0,35 = 46,55$

$R = \sqrt{\left(\frac{133 - 77,14}{2}\right)^2 + (46,55)^2} = 54,28$

$\sigma_1 = 159,35$ $\sigma_3 = 50,82$ $\sigma_1 = \sigma_3 tg^2(45 + \frac{25}{2}) \ldots$

خاک از قبل گسیخته شده $159,35 > 156,60$

Subject:
Year: Month: Date:

Sa | Su | Mo | Tu | We | Th | Fr

گسیختگی خاک بر اساس تنش موثر

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 \, tg^2\left(45+\frac{\phi'}{2}\right) + 2c' \, tg\left(45+\frac{\phi'}{2}\right)$$

c' = چسبندگی موثر خاک ϕ' = زاویه اصطکاک موثر خاک σ' = تنش موثر

(مقدار زهکشی آب حفره ای)

$c > c'$ $\phi' > \phi$

مثال) مطلوب است حداقل فشار آب حفره ای برای حالت اشباع زیر

$\sigma_v = 500$ $c' = 10\ kPa$ $\phi' = 30°$

320 → □ ← $320 = \sigma_h$ (500 از بالا و پایین)

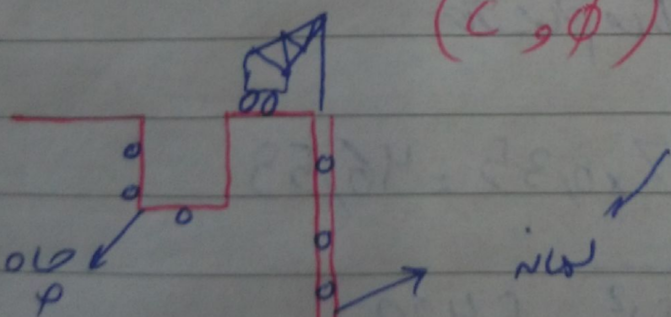
$\sigma'_1 = \sigma_1 - u = 500 - u$

$\sigma'_3 = \sigma_3 - u = 320 - u$

$$500 - u = (320-u)\, tg^2\left(45+\frac{30}{2}\right) + 2\times 10\, tg\left(45+\frac{30}{2}\right)$$

$u = 247{,}32$ $\gamma_w h = 247{,}32 \rightarrow h = 24{,}7\ m$

اهمیت آزمایش با پارامترهای برشی (c و ϕ)



- آزمایش تک محوری   uniaxial
- آزمایش برش مستقیم   Direct shear
- آزمایش سه محوری   Triaxial
- آزمایش برش پره   Vane shear

NEGAR

Subject:
Year: Month: Date:

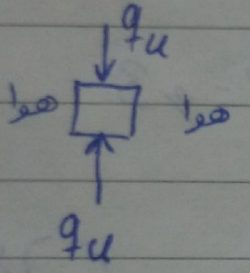
آزمایش تک محوری

فقط در خاک رس ممکن است شن و ماسه نمیشود

q_u = فشار اعمال در لحظه گسیختگی

آب + رس

زهکشی نشده
- C_u چسبندگی زهکشی نشده
- ϕ_u زاویه اصطکاک " " $\phi_u = 0$



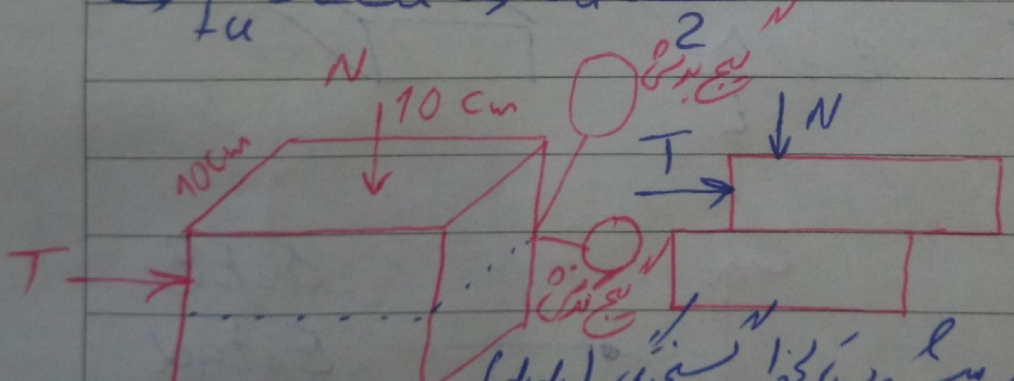
$\sigma_1 = q_u \quad \sigma_3 = 0$

$\sigma_1 = \sigma_3 \, tg^2(45 + \frac{\phi_u}{2}) + 2C_u \, tg(45 + \frac{\phi_u}{2})$

$q_u = 0 + 2C_u$

$\rightarrow q_u = 2C_u \rightarrow C_u = \frac{q_u}{2}$

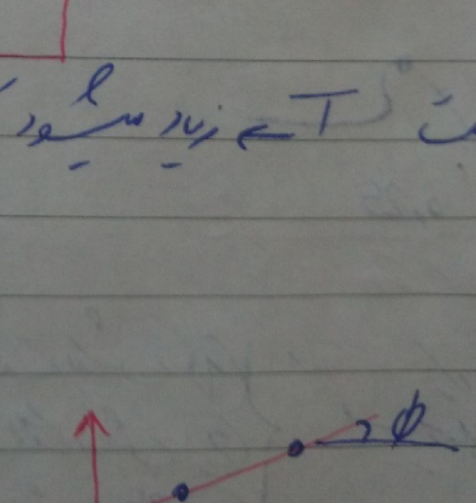
آزمایش برش مستقیم



N ثابت T زیاد میشود تا لحظه گسیختگی (پله پله)

نقطه اول
- $N_1 \rightarrow \sigma_1 = \frac{N}{10 \times 10}$
- $T_1 \rightarrow \tau_1 = \frac{T}{10 \times 10}$

نقطه دوم
- $N_2 \rightarrow \sigma_2$
- $T_2 \rightarrow \tau_2$



Subject:
Year: Month: Date:

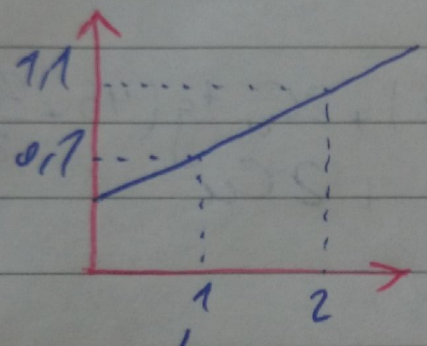
Sa Su Mo Tu We Th Fr

مثال $\phi, c = ?$

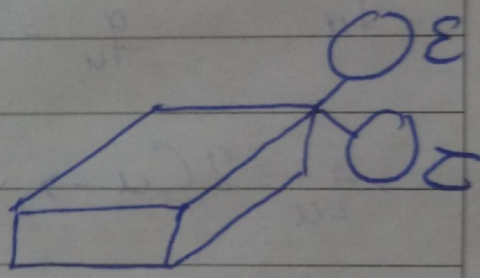
$$\begin{cases} N_1 = 100\ kg \\ T_1 = 70\ kg \end{cases} \qquad \begin{cases} N_2 = 200 \\ T_2 = 110 \end{cases}$$

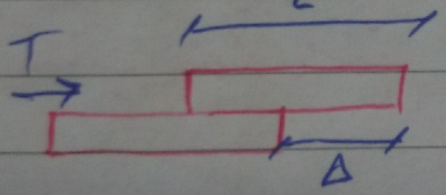
$$\sigma_1 = \frac{100}{10 \times 10} = 1 \qquad \sigma_2 = \frac{200}{} = 2\ kg/cm^2$$

$$\tau_1 = \frac{70}{10 \times 10} = 0{,}7 \qquad \tau_2 = \frac{110}{10 \times 10} = 1{,}1$$

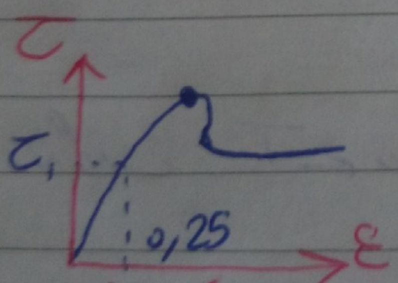


$tg\phi = 0{,}4 \qquad C = 0{,}3$

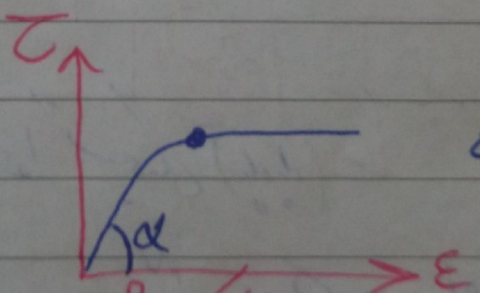




$$\varepsilon = \frac{\Delta}{L}$$



خاک سفت



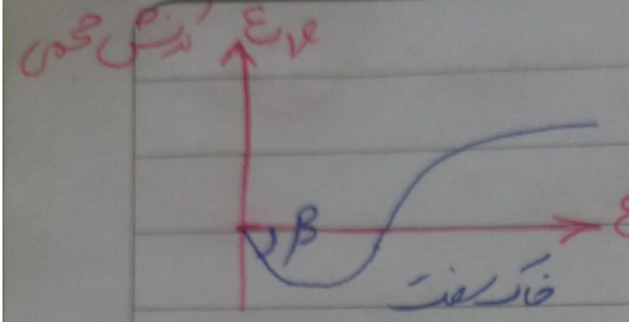
خاک شل

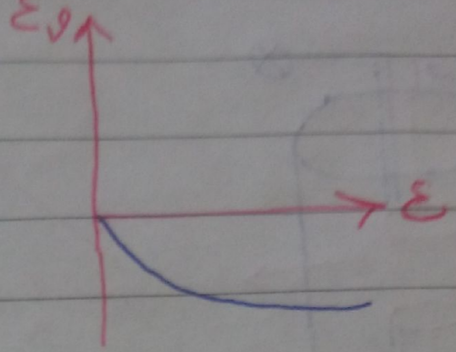
$\sigma = E\varepsilon$

$E = tg\alpha$

گسیختگی
① اوج برش
② ثابت ماندن برش
③ بیشتر از برش از 25

NEGAR





خاک شل

$$\varepsilon_v = \varepsilon_x+\varepsilon_y+\varepsilon_z \qquad \varepsilon_v = \frac{1-2\nu}{E}(\sigma_x+\sigma_y+\sigma_z)$$

$$tg\beta = \frac{d\varepsilon_v}{d\varepsilon} = \frac{d}{d\frac{\sigma_x}{E}}\frac{1-2\nu}{E}(\sigma_x+\sigma_y+\sigma_z)$$

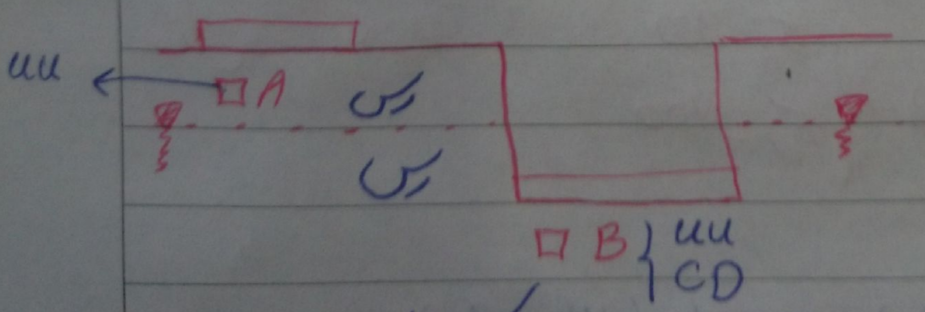
$tg\beta = 1-2\nu \rightarrow$ ν بدست می‌آید

انواع آزمایش برش مستقیم در رس:

① آزمایش تند (UU) ← کوتاه مدت: N و T سریع وارد می‌شوند (گودبرداری)

② آزمایش نیمه‌سریع (CU): N به آهستگی و T به سرعت وارد می‌شود (سدسازی)

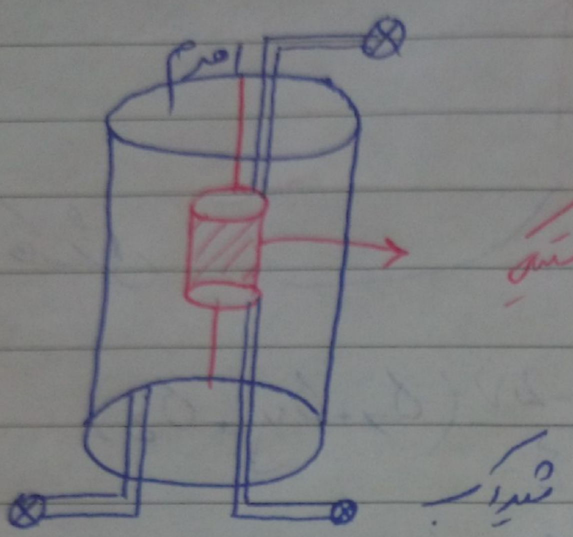
③ آزمایش کند (CD) ← بلند مدت: N و T به کندی به خاک وارد می‌شود

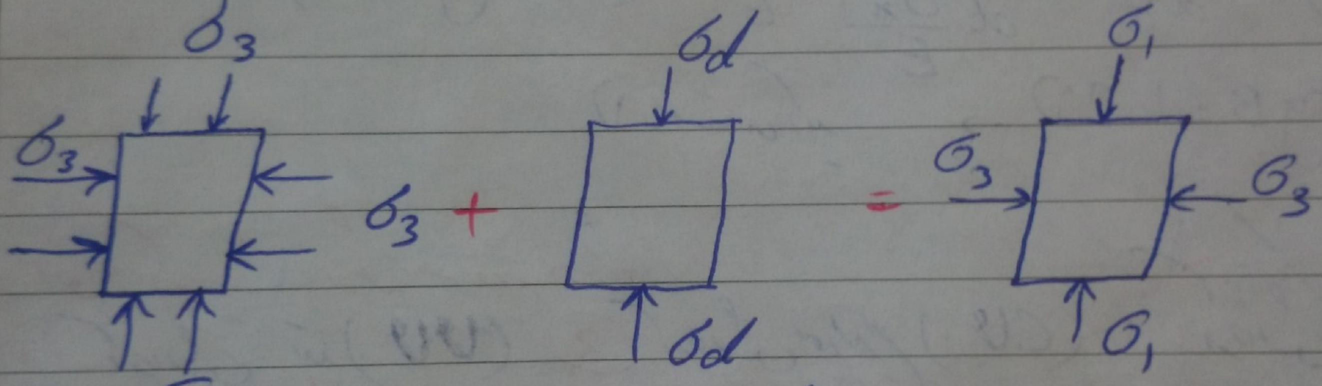


(A) رس خشک ← تند UU

اگر ماسه داشتیم در هر دو حالت N و T را سریع وارد می‌کنیم ولی در حصه B آب هم هست

آزمایش سه محوری





فشار آب اطراف

فشار اهرم یا در لحظه گسیختگی : σ_d

$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_d$

رابطه گسیختگی : $\sigma_1 = \sigma_3 \, tg^2(45+\frac{\phi}{2}) + 2C \, tg(45+\frac{\phi}{2})$

مثال : $? = \phi , C$

$1) \begin{cases} \sigma_3 = 200 \\ \sigma_d = 250 \end{cases}$

$2) \begin{cases} \sigma_3 = 300 \\ \sigma_d = 400 \end{cases}$

$① \begin{cases} \sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_d = 450 \\ 450 = 200 \, tg^2(45+\phi/2) + 2C \, tg(45+\phi/2) \end{cases}$

$② \begin{cases} \sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_d = 700 \\ 700 = 300 \, tg^2(45+\phi/2) + 2C \, tg(45+\phi/2) \end{cases}$

Subject: Year: Month: Date:

Sa Su Mo Tu We Th Fr

بعد از حل دانشگاه

$\phi = 25,33$ $C = -15,23$

انواع سه محوری برای رس :

① آزمایش UU : تحکیم نیافته زهکشی نشده : کوتاه مدت : C_u و ϕ_u

unconsolidated undrained

② آزمایش CU : تحکیم یافته زهکشی نشده

consolidated undrained

③ آزمایش CD : تحکیم یافته زهکشی شده : بلند مدت : C' و ϕ'

consolidated Drained

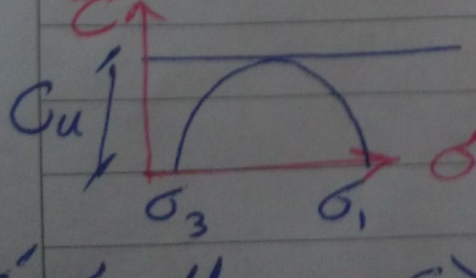
① شیر آب در مرحله σ_3 و σ_d بسته است : کوتاه مدت

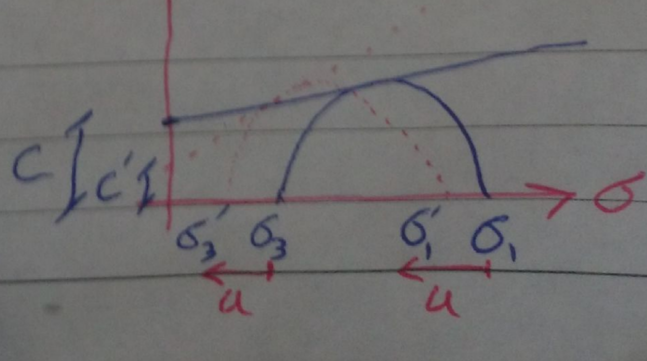
③ شیر آب در مرحله σ_3 و σ_d باز است : بلند مدت

② در مرحله σ_3 شیر باز و در مرحله σ_d شیر بسته است

UU: $\phi_u = 0$ $\sigma_1 = \sigma_3 tg^2(45+\frac{\phi_u}{2}) + 2C_u tg(45+\frac{\phi_u}{2})$

$\sigma_1 = \sigma_3 + 2C_u$ $\tau = \sigma tg\phi_u + C_u \rightarrow \tau = C_u$





$\sigma' = \sigma - u$

$c > c'$

$\phi < \phi'$

مثال: در یک آزمایش سه محوری CD مقادیر $C' = 0$ و $\phi' = 32^\circ$ بدست آمده است این خاک در آزمایش تک محوری در $q_u = 90\,kPa$ گسیخته شده است مطلوب است مقدار فشار آب حفره‌ای در لحظهٔ گسیختگی

تک محوری $\sigma_3 = 0 \rightarrow \sigma'_3 = \sigma_3 - u$ $\quad \sigma_1 = q_u = 90\,kPa$

$\sigma'_1 = \sigma_1 - u = 90 - u \quad (90 - u) = -u\,tg^2\left(45 + \frac{32}{2}\right) + 2C'\,tg\left(45 + \frac{32}{2}\right)$

$90 - u = -u \times 3{,}25 \rightarrow 90 = -2{,}25u$

$\rightarrow u = -40$